

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Hans Linser

**DER EINFLUSS EINER VARIierten ERNÄHRUNG
MIT KALIUM AUF DIE VERLAGERUNG VON
ASSIMILATEN UND MINERALSTOFFEN BEI
LYCOPERSICON ESCULENTUM**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades bei
dem Fachbereich 19 Ernährungswissenschaften der
Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von

MAIJA VIRO
aus Helsinki, Finnland

Gießen, im März 1973

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. Hans Linser

**DER EINFLUSS EINER VARIierten ERNÄHRUNG
MIT KALIUM AUF DIE VERLAGERUNG VON
ASSIMILATEN UND MINERALSTOFFEN BEI
LYCOPERSICON ESCULENTUM**

DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades bei
dem Fachbereich 19 Ernährungswissenschaften der
Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von
MAIJA VIRO
aus Helsinki, Finnland

Gießen, im März 1973



Dekan: Professor Dr. Dr. h.c. H. Linser

1. Berichterstatter: Professor Dr. K. Mengel

2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. h.c. E. v. Boguslawski

Tag der mündlichen Prüfung: 1. März 1973

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. VERSUCHSTECHNIK UND ANALYTIK	3
1. Anzucht der Pflanzen, 1969	3
2. Ernte, 1969	6
3. Anzucht der Pflanzen, 1970	8
4. Behandlung der Pflanzen mit $^{14}\text{CO}_2$	9
5. Verarbeitung des mit ^{14}C markierten Pflanzen- materials	11
a. Extraktion des Pflanzenmaterials mit 75%igem Äthylalkohol, Trocknen des Rückstandes	11
b. Trocknen des gesamten Pflanzenmaterials	14
c. Extraktion mit Perchlorsäure	14
d. Organische Analysen	15
Fraktionieren des Extraktes	15
Papierchromatographische Zuckeranalysen	17
III. VERSUCHSERGEBNISSE	19
1. Mineralstoffverteilung	19
a. Kalium	19
b. Natrium	21
c. Kalzium	23
d. Magnesium	25
e. Phosphor	25
2. Ertragsbildung	28
3. Pflanzenkrankheiten und Mangelerscheinungen	30
4. Kationenspektrum der einzelnen Pflanzenorgane	31

5. Transport organischer Stoffe	39
a. Versuche mit nicht abgedunkelten Früchten	42
Die in 75%igem Äthanol lösliche Fraktion	42
Die in 75%igem Äthanol unlösliche Fraktion	50
Gesamtmarkierung der Pflanzen	52
b. Versuche mit abgedunkelten Früchten	54
Verteilung der Markierung im Alkoholextrakt und	
im unlöslichen Rückstand	54
Markierung einzelner organischer Fraktionen	59
IV. DISKUSSION	64
V. ZUSAMMENFASSUNG	114
VI. SCRIFTTUM	117

I. EINLEITUNG

Es ist schon lange bekannt, daß die Pflanze von den im Boden vorhandenen Nährstoffen lebt, daß sie von der Nährstoffzufuhr abhängig ist. Es sind zahlreiche diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt worden, um Zusammenhänge zwischen der Nährstoffzufuhr und der Ertragsbildung zu klären. Um tieferen Einblick zu bekommen, reicht es jedoch nicht, daß man weiß, daß ein Nährstoff die Ertragsbildung begünstigt, man sollte auch wissen, wie diese Wirkung zustandekommt.

Der primäre Vorgang der Ertragsbildung ist die Photosynthese. Bei der höheren Pflanze ist neben der Photosynthese auch der Stofftransport wichtig. Dabei müßten sowohl der biologische Ertrag als auch der ökonomische Ertrag berücksichtigt werden (YOSHIDA 1972). LINSER (1967) spricht von Systemwachstum und Produktwachstum.

Von den bekannten Pflanzennährstoffen sind Stickstoff, Phosphor und Schwefel auch Baustoffe des organischen Materials, man findet sie in den Proteinen, Nukleinsäuren, löslichen Aminoverbindungen und sekundären Inhaltsstoffen. Für das Nährion Kalium sind derartige Funktionen nicht bekannt, aber man weiß, daß das K^+ viele Enzyme aktiviert (EVANS und SORGER 1966).

Von den mineralischen Nährstoffen hat ganz besonders das K^+ die Eigenschaft, in die jungen, wachsenden Gewebe wasserhaltiger Früchte und Reserveorgane zu wandern. In dieser Arbeit soll deshalb untersucht werden, ob die Früchte bezüglich der Versorgung mit K^+

gegenüber anderen Pflanzenorganen bevorzugt werden. Es gibt Anhaltspunkte dafür, daß das K^+ nicht nur selbst in diese Früchte einwandert, sondern auch den Transport organischer Stoffe in die Reserveorgane oder Früchte begünstigt.

Bei optimaler K-Versorgung ist der Zuckergehalt der Zuckerrübe (*Beta vulgaris*), der Stärkegehalt der Kartoffelknolle (*Solanum tuberosum*), der Kohlenhydratgehalt in den Getreidekörnern erhöht. Diese Befunde berechtigen die weitere und wichtigere Versuchsfrage, nämlich, ob das K^+ den Assimilattransport zur Frucht erhöht. Als die diesbezüglichen Untersuchungen begonnen wurden, lag in der Literatur über diese Frage nichts vor. Es war lediglich bekannt, daß bei Mangelpflanzen, wo alle Lebensfunktionen betroffen sind, auch der Assimilattransport in Mitleidenschaft gezogen wird. In der Zwischenzeit hat HARTT (1969, 1970) Arbeiten publiziert, die Hinweise dafür geben, daß der Stofftransport beim Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*) durch gute K-Versorgung begünstigt wird. Auch ASHLEY und GOODSON (1972) publizierten kürzlich, daß K^+ einen günstigen Einfluß auf den Assimilattransport in Baumwollpflanzen (*Gossypium hirsutum*) hat. In beiden Fällen handelt es sich aber nicht um einen Transport in die Früchte, sondern in andere Pflanzenorgane. In dieser eigenen Arbeit jedoch war das Hauptziel, den Einfluß des K^+ auf den Stofftransport in die Frucht zu untersuchen.

Die Tomate (*Solanum lycopersicum*) wurde als Versuchspflanze ausgesucht, denn es sollte mit einer Pflanze gearbeitet werden, die leicht in Hydrokultur, also unter kontrollierter Nährstoffzufuhr, anzuziehen ist, deutlich auf das Nährion K^+ anspricht und eine gute Fruchtbildung vorzeigt.

Die Arbeit ist also auf zwei Versuchsfragen ausgerichtet: Erstens soll untersucht werden, ob der K-Ernährungszustand den Assimilattransport zur Tomatenfrucht beeinflusst und zweitens, ob bei der Verteilung von K^+ auf die einzelnen Pflanzenorgane die Frucht auf Kosten anderer Pflanzenorgane Kalium anreichert.

II. VERSUCHSTECHNIK UND ANALYTIK

1. Anzucht der Pflanzen, 1969.

Die Pflanzen wurden in Boden angekeimt und im Alter von etwa drei Wochen bei einer Höhe von ungefähr 15 cm in Wasserkulturen umgepflanzt. Als Gefäße dienten Plastikeimer (5 l Inhalt), die in einem Gewächshaus mit ausfahrbarem Dach und Wänden standen. Tagsüber wurde das Gewächshaus normalerweise offen gelassen, damit die Pflanzen bei natürlichem Tageslicht und den vorhandenen Außentemperaturen wachsen konnten. Bei Regenwetter hielt man das Gewächshaus geschlossen, um die Nährlösungen unter Kontrolle zu haben.

Die Untersuchungen erstreckten sich über zwei Vegetationsperioden: Frühjahr bis Herbst 1969 und 1970. Im ersten Versuchsjahr wurde der Einfluß des unterschiedlichen K-Ernährungszustandes auf die Verteilung der wichtigsten Mineralstoffe in der Tomatenpflanze untersucht. Die Versuchsfrage im Jahre 1970 lautete: Welche Auswirkungen hat ein unterschiedlicher K-Ernährungszustand auf den Assimilattransport von den Blättern in die Früchte und Wurzeln.

Zur Klärung der ersten Versuchsfrage wurden 108 Pflanzen angezogen,

die in drei Varianten mit unterschiedlicher K-Ernährung unterteilt waren. Die drei Varianten werden mit K_1 , K_2 und K_3 bezeichnet, weil bis auf den K-Gehalt die Zusammensetzung der Nährlösungen für alle Pflanzen gleich war. Einen Überblick über die Zusammensetzung der Nährlösungen gibt die Tabelle 1.

Die Konzentrationen der Nährlösungen wurden wöchentlich nachgeprüft. Der Kaliumspiegel konnte dadurch nach Bedarf durch Zugabe von K_2SO_4 auf den ursprünglichen Gehalt eingestellt werden. Zur Zeit des stärksten Wachstums mußten die gesamten Nährlösungen dreimal gewechselt werden. Ab September wurden sie nur noch gelegentlich nachgeprüft. Das Nährlösungsvolumen blieb konstant (5 l); durch Zugabe von deionisiertem Wasser wurde das von den Pflanzen aufgenommene und transpierte Wasser täglich nachgefüllt. Die Lösungen wurden jeden Tag dreimal belüftet, jeweils eine halbe Stunde lang.

Die Tomatenpflanzen wurden die ganze Vegetationsperiode hindurch auf die Mineralstoffverteilung untersucht. Die erste Probenentnahme fand am 7. Mai beim Umpflanzen in die Wasserkulturen, die Schlußernte am 10. November 1969 statt. In der Zwischenzeit wurde in 14-tägigem Abstand fünfmal geerntet; die Termine waren: 30. Juni, 14. und 28. Juli, 11. und 25. August.

Die K-Versorgung der Pflanzen in der niedrigsten K-Variante (K_1) erwies sich als unzureichend, Mangelsymptome traten im Verlauf der Vegetationszeit auf. In der letzten Juniwoche konnte man bei den oberen, jungen Blättern chlorotische Farbveränderungen sowie Braunfärbung und Absterben des Blattrandes beobachten, die als K-Mangelerscheinungen gedeutet wurden, obwohl sich im allgemeinen zuerst das fehlende Kalium bei den älteren Blättern bemerkbar macht. Diese

Tabelle 1. Zusammensetzung der Nährlösungen.

Makronährstoffe (10^{-3} molar)	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	4,0
CaCl_2	1,0
CaSO_4	2,0 (1,7 g je 5 l)
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	2,0
NaH_2PO_4	1,5
Na_2SiO_3	2,0 (1,25 g je 5 l)
$\text{K}_1: \text{K}_2\text{SO}_4$	1,0
$\text{K}_2: \text{K}_2\text{SO}_4$	5,0
$\text{K}_3: \text{K}_2\text{SO}_4$	10,0
Mikronährstoffe (10^{-6} molar)	
MnSO_4	28,0
H_3BO_3	20,0
CuSO_4	2,8
ZnSO_4	2,8
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	0,6
Fe als Chelat	20,0

Erscheinungen sowie das Welken der Pflanzen konnten jedoch nach dem Austausch der verbrauchten Nährlösungen gegen neuangesetzte überwunden werden. Im Verlauf der Vegetationszeit kamen auch die als typische K-Mangelercheinungen bezeichneten Symptome (SMILDE und ROORDA VAN EYSINGA 1968) bei dieser Variante vor.

2. Ernte, 1969

Es wurden jeweils vier Tomatenpflanzen je Variante geerntet, die einem repräsentativen Durchschnitt der Variante entsprachen. Das Untersuchungsmaterial wurde in vier Fraktionen aufgeteilt: Blätter, Früchte, Stengel und Wurzeln. In jeweils einer Mischprobe der genannten Pflanzenorgane wurden die Mineralstoffe nach den bekannten Methoden analysiert. Zuerst wurde das Frischgewicht und nach dem Trocknen im Frischlufttrockenschrank bei 60°C das Trockengewicht jeder Fraktion ermittelt.

1. Zwischenernte am 30. Juni 1969

Bei allen drei K-Varianten trug der erste Fruchtansatz kleine grüne Früchte, der zweite Ansatz begann zu blühen.

2. Zwischenernte am 14. Juli 1969

Zu dieser Zeit trug auch schon der dritte Fruchtansatz grüne Früchte. Die Früchte der Pflanzen der K_1 -Variante waren am größten, bei einigen Früchten konnte man allerdings Mangelsymptome beobachten. Obwohl die Pflanzen der höchsten K-Variante (K_3) gut entwickelt erschienen, war der Fruchtertrag, bedingt durch weniger und kleinere Früchte, niedriger als in der Variante K_2 (siehe Tabelle 7). Die Pflanzen der mittleren Variante (K_2) machten den gleichmäßigsten Eindruck. Bei allen drei Varianten hatten die Pflanzen zu diesem

Zeitpunkt einige abgestorbene, braune Blätter.

3. Zwischenernte am 28. Juli 1969

Zu diesem Zeitpunkt konnten auch schon ganz oder zum Teil ausgereifte Früchte geerntet werden. Die Pflanzen besaßen meistens fünf Fruchtansätze, die auch Früchte trugen; der sechste war noch in Blüte. Das Erscheinungsbild der Pflanzen aller Varianten war bis auf die schon geschilderten Mangelercheinungen gut.

4. Zwischenernte am 11. August 1969

Die Pflanzen wiesen fünf bis sieben Fruchtansätze auf; der größte Anteil der Früchte der beiden ersten Ansätze waren ausgereift. Der Reifegrad war bei der Variante K_2 am weitesten fortgeschritten. Die Pflanzen der K_3 -Variante waren jedoch am größten; sie trugen auffallend viele kleine Früchte mit einem Durchmesser von nur 2-3 Zentimetern. Viele Früchte, besonders bei der niedrigsten K-Variante, waren ungleichmäßig ausgereift, die Fruchtbasis war gelblich und verhärtet, fast holzartig. Diese Erscheinung wurde als die Krankheit "Grünkragen" identifiziert, die besonders bei heißer Witterung in Verbindung mit unzureichender K-Versorgung auftritt.

In dem genannten Zeitpunkt blühten nur noch wenige Pflanzen. Einige Blätter von Pflanzen der höchsten K-Variante zeigten Mg-Mangelercheinungen (SMILDE und ROORDA VAN EYSINGA 1968). Es wurde deshalb bei dem nächsten Nährlösungsaustausch die Mg-Gabe für diese Variante verdoppelt.

5. Zwischenernte am 25. August 1969

Der allgemeine Zustand der Pflanzen war gut. Die Früchte des sechsten Fruchtansatzes waren noch völlig grün.

Zur Ermittlung des Gesamtertrages an reifen Früchten blieben je Variante sechs Pflanzen bis Vegetationsende stehen. Von diesen Pflanzen wurden während der gesamten Vegetationszeit die reifen Früchte geerntet. Die letzten Früchte wurden am 10. November gepflückt. Nach der 5. Zwischenernte wurden die Nährlösungen nicht mehr regelmäßig kontrolliert.

3. Anzucht der Pflanzen, 1970

Im Jahre 1970 wurde der Assimilattransport von den Blättern in die Früchte und Wurzeln untersucht.

Die Anzucht der Pflanzen erfolgte wie vorher schon beschrieben. Es wurden viermal nacheinander jeweils 48 Pflanzen angezogen. Bis auf den K-Gehalt entsprach die Zusammensetzung der Nährlösungen den Angaben in Tabelle 1.

Die ersten 48 Pflanzen wuchsen bei der einheitlichen K-Konzentration von 5 mmol K_2SO_4 /l (10 mmol K^+ /l) heran. Bei den darauffolgenden drei Ansätzen enthielt die Nährlösung der Pflanzen bis zur Blüte ebenfalls diese K-Konzentration (10 mmol K^+ /l), erst dann wurde die K-Ernährung variiert. In der K_1 -Variante des 2. und 3. Ansatzes betrug die K-Konzentration 1 mmol K^+ /l, in der K_2 -Variante wurde die ursprüngliche K-Konzentration von 10 mmol K^+ /l beibehalten. Beim vierten, dem letzten Ansatz wurde die K-Konzentration der K_1 -Variante sogar auf 0,4 mmol K^+ /l gesenkt, während die K_2 -Variante auf dem hohen Niveau von 10 mmol K^+ /l blieb. In allen Fällen wurde K^+ als K_2SO_4 appliziert.

4. Behandlung der Pflanzen mit $^{14}\text{CO}_2$

Der Transport organischer Stoffe wurde mit Hilfe radioaktiven Kohlenstoffs (^{14}C) verfolgt, der den Pflanzen als $^{14}\text{CO}_2$ angeboten wurde. Da die $^{14}\text{CO}_2$ -Applikation in einem gasdichten Kasten mit den Innenmaßen $103 \times 64 \times 89 \text{ cm} = 587 \text{ l}$ erfolgte, durften die zu behandelnden Pflanzen nicht zu hoch wachsen. Sie wurden deshalb oberhalb des ersten Fruchtansatzes dekapitiert, die Anzahl der Früchte wurde auf fünf reduziert. Der aus Plexiglas hergestellte Begasungskasten stand im Labor unter einer Lichtanlage von $10\,000$ Lux Lichtintensität. Er war mit einem Thermometer, Hygrometer, Ventilator, einem Kühlrohr mit einer Trappe für das kondensierende Wasser, sowie einem Monitor zum Anzeigen der vorhandenen Radioaktivität ausgestattet. Außerhalb des Plexiglaskastens befand sich ein Kühlaggregat mit Verbindung zum Kühlrohr. Dem Kasten war eine Belüftungsanlage angeschlossen, die dafür sorgte, daß der Überschuß an radioaktivem CO_2 nach beendeter Applikation unter Zufuhr von frischer Luft abgepumpt werden konnte. Der radioaktive $^{14}\text{CO}_2$ -Anteil in dieser Luft mußte vor Eintritt in die Atmosphäre entsprechend den Sicherheitsbestimmungen entfernt werden. Dazu wurde die Luft durch eine Gaswaschanlage (mehrere hintereinander gekoppelte Gaswaschflaschen mit einer 10%igen NaOH -Lösung) gesaugt, in der das $^{14}\text{CO}_2$ als $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ absorbiert wurde. Im Kasten konnten jeweils acht Pflanzen begast werden (beim letzten, dem vierten Ansatz waren die Pflanzen so breit, daß nur sechs Pflanzen Platz fanden). Das markierte Kohlendioxyd wurde aus $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ mit einigen Tropfen $0,1 \text{ n HCl}$ in Freiheit gesetzt. Das Präparat Bariumkarbonat- ^{14}C lieferte die Radiochemical Centre, Amersham (Spezifische Akti-

vität 1,13 mCi/mmol, 5,72 μ Ci/mg, Molekulargewicht 197).

Bei den ersten zwei Versuchen wurden jeweils 2 mCi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ auf einem Uhrglas eingewogen und nach dem luftdichtem Verschuß des Kastens mit HCl in Freiheit gesetzt. Danach wurden Präparate von 1 mCi $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ in einer Ampulle benutzt, die im abgeschlossenen Kasten geöffnet und auf ein Uhrglas geleert wurde; das $^{14}\text{CO}_2$ entwickelte sich dann ebenfalls nach Zugabe von HCl. Die Menge an radioaktivem Kohlendioxyd, die in diesen Versuchen eingeführt wurde, war so gering (etwa $0,2 \text{ l} = 0,003\%$ der Luftmenge im Kasten), daß der vorhandene normale Anteil an CO_2 in der Atmosphäre (etwa $0,03\%$) dadurch nicht beachtlich verändert wurde.

Die Pflanzen standen während der Begasung in Plastikeimer mit der bisher benutzten Nährlösung. Das $^{14}\text{CO}_2$ wurde morgens um 7.00 Uhr eingeführt. Der Ventilator sorgte für gleichmässige Verteilung des $^{14}\text{CO}_2$; innerhalb von ein paar Minuten zeigte der Monitor einen raschen Anstieg der Radioaktivität in der Atmosphäre des Kastens an. Die Lichtanlage war schon vor der Einfuhr des $^{14}\text{CO}_2$ angeschaltet. Die Feuchtigkeit im Kasten stieg rasch an. Auf hygroskopische Trocknungsmittel wie z.B. Kieselgel mußte wegen nicht ausreichender Kapazität verzichtet werden. Diese Trocknungsmittel reichten bei weitem nicht aus, um die durch die Transpiration der Pflanzen bewirkte Erhöhung der Luftfeuchtigkeit abzufangen. Die relative Luftfeuchtigkeit konnte jedoch mit angeschlossener Kühlung bei etwa 90% gehalten werden. Aus diesem Grunde war es nicht möglich, die erwünschte Arbeitstemperatur von 25°C zu erreichen, sie betrug nun nur $19-20^\circ\text{C}$.

Die Pflanzen assimilierten zwei Stunden unter den oben angegebenen Bedingungen das $^{14}\text{CO}_2$. Da der $^{14}\text{CO}_2$ -Gehalt im Kasten nach dieser Zeit noch sehr hoch war, war es notwendig, die Belüftungsanlage und die Pumpe anzuschalten. Dabei konnte der Kasten mit frischer Luft gespült und das $^{14}\text{CO}_2$ als $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ aufgefangen werden. Vier Stunden mußte die Pumpe in Tätigkeit bleiben, bevor der $^{14}\text{CO}_2$ -Gehalt im Kasten sich so verringert hatte, daß er ohne Risiko geöffnet werden konnte. Anschließend begann die Ernte der Pflanzen in verschiedenen Zeitabständen.

5. Verarbeitung des mit ^{14}C markierten Pflanzenmaterials

Das mit $^{14}\text{CO}_2$ behandelte Pflanzenmaterial wurde in vier Fraktionen aufgeteilt: Blätter, Früchte, Stengel und Wurzeln. Das Frischgewicht wurde festgestellt, das ganze Material grob zerkleinert und in Glasgefäße (750 oder 1000 ml Inhalt) gefüllt. Weiter wurde die Pflanzensubstanz nach einem der folgenden Verfahren bearbeitet, die im Detail beschrieben werden:

- a. Extraktion des Pflanzenmaterials mit 75%igem Äthylalkohol, Trocknen des Rückstandes.
- b. Trocknen des gesamten Pflanzenmaterials.
- c. Extraktion des Pflanzenmaterials mit Perchlorsäure.

a. Extraktion des Pflanzenmaterials mit 75%igem Äthylalkohol,

Trocknen des Rückstandes

Das gewogene, in Gläsern eingefüllte, zerkleinerte Material wurde mit 75%igem Äthylalkohol wie folgt extrahiert. Es wurde die Pflanzen-

substanz mit Alkohol überschichtet, der 24 Stunden einwirkte. Der Vorgang wurde zweimal wiederholt, bei der letzten Extraktion wurde jedoch kochender Alkohol verwendet, um auch wirklich alle vorhandenen alkohollöslichen Stoffe zu erfassen. Alle drei Alkoholextrakte wurden vereinigt und in Rotationsverdampfern unter Vacuum im Wasserbad bei 40°C zur Trockne eingeengt. Den Rückstand nahm man mit 50 ml Wasser und 50 ml Chloroform auf; die wäßrige Phase wurde zur weiteren Analyse aufgehoben, der Chloroformanteil verworfen.

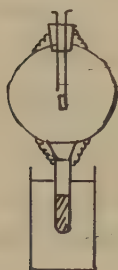
Die Messung der mit ^{14}C markierten Proben erfolgte nach dem Flüssigkeits-Szintillations-Zählverfahren. Als Szintillator für wäßrige Proben wurde die Lösung "Aquasol" von New England Nuclear benutzt. Die Messungen erfolgten in einem Flüssigkeitsszintillationszähler (Packard Tri-Carb Liquid Scintillation Counter).

Aus dem wäßrigen Extrakt wurde eine Probenmenge von 1 ml auf 10 ml Aquasol in ein Probefläschchen gegeben, geschüttelt und gemessen. Die Meßergebnisse geben Hinweise über die Verteilung der mit ^{14}C markierten Assimilate auf die verschiedenen Pflanzenorgane.

Der in 75%igem Äthanol unlösliche Rückstand wurde im Umlufttrockenschrank bei 60°C getrocknet, gewogen und innerhalb eines staubdichten, mit Abzug ausgestatteten Kastens gemahlen. Das Material wurde nach der Verbrennungsmethode von KALBERER und RUTSCHMANN (1961) untersucht.

Als Verbrennungsgefäß diente ein Glaskolben, der durch eine Schliffverbindung mit einem Reagenzglas verbunden war. Durch den Stopfen des Kolbens liefen zwei Platindrähte. Der eine davon war mit einem Platingitter ausgestattet, der andere diente zur

Zündung der Probe.



Sauerstoff

Zünddraht

Platingitter mit der Probe

Äthanolamin

Kühlflüssigkeit im Dewar-Gefäß

In das Reagenzglas wurden 15 ml Absorptionslösung pipettiert. Es wurde dem am Stativ befestigten Kolben angeschlossen und in einer Kühlflüssigkeit im Dewar-Gefäß 5 Min. gekühlt und mit Sauerstoff gespült. Für den Versuch wurden 50 mg des trockenen Pflanzmaterials auf einem 100 mg schweren Stück Filterpapier (Schwarzband) eingewogen. Die Probe wurde in das Papier gewickelt und so am Platingitter befestigt. Den Zünddraht stellte man 2-3 mm vom Papier entfernt auf Platingitter ein, befeuchtete das Papier mit einem kleinen Tropfen Methanol, schloß den Kolben und sicherte ihn mit Stahlfedern. Das Papier wurde dann elektrisch gezündet. Nach Verbrennung der Probe und Abkühlen des Kolbens wurde das Dewar-Gefäß entfernt. Das gesamte Kolbensystem wurde dann mit der Absorptionslösung 25 Min. in einer Schüttelmaschine geschüttelt, um so alles bei der Verbrennung entstandene CO_2 restlos zu resorbieren. Für diesen Vorgang wurden nachstehende Reagenzien benötigt:

Kühlflüssigkeit: Im Dewar-Gefäß Äthanol so lange mit Trockeneis

versetzen, bis das Eis nicht mehr schmilzt.

Absorptionslösung: 120 ml Äthanolamin mit Methanol (p.a.)
auf 1 l auffüllen.

Toluol-Szintillator: Zu ca. 500 ml Toluol (p.a.) zugeben: 100 mg
1,4-bis-2-(5-Phenylloxazolyl)-Benzol (POPOP), $\frac{1}{4}$ g 2,5-Di-
phenylloxazol (PPO) und mit Toluol auf 1 l auffüllen.

Für die Messung wurden 10 ml Absorptionslösung mit 10 ml Toluol-
Szintillator in ein Probefläschchen gegeben, geschüttelt und im
Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen.

b. Trocknen des gesamten Pflanzenmaterials

Das gewogene, grob zerkleinerte Frischmaterial wurde im Umlufttrockenschrank bei 60°C getrocknet. Das Trockengewicht wurde festgestellt und das Material in der schon beschriebenen Weise gemahlen. Die Verbrennung und Messung der Proben erfolgte wie unter (a.) beschrieben. Aus den Meßergebnissen wurde die Verteilung der markierten Assimilate auf die verschiedenen Pflanzenorgane errechnet. Mit dieser Methode kann man in einem Analysegang direkt das gesamte Material erfassen. Wegen nicht ausreichender Trockenschrankkapazität wurde von dieser Methode jedoch nur bei zwei Ernten Gebrauch gemacht.

c. Extraktion mit Perchlorsäure

Der Vorteil der Perchlorsäure als Extraktionsmittel dem Alkohol gegenüber ist, daß Perchlorsäure die wasserlöslichen Substanzen extrahiert, nicht aber das Chlorophyll. Diese Methode würde eine Zeitersparnis gegenüber der Extraktion mit Äthanol bedeuten, weil das Einengen des Extraktes und Lösen des Rückstandes mit der

Mischung aus Wasser und Chloroform entfällt. Die Extraktion mit Perchlorsäure wurde jedoch nur bei einer Ernte durchgeführt, denn der nicht extrahierbare Rückstand läßt sich nicht trocknen; es kann also nur die lösliche Fraktion erfaßt werden.

Das zerkleinerte, frische Pflanzenmaterial wurde zweimal 24 Stunden mit 0,6 n HClO_4 versetzt. Die Extrakte wurden vereinigt und das Volumen ermittelt. Von dem Extrakt wurden 50 ml entnommen, mit 30%iger KOH-Lösung neutralisiert, filtriert und auf 100 ml aufgefüllt. 1 ml dieser Probelösung wurde mit 10 ml Aquasol versetzt, gemischt und im Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen.

d. Organische Analysen

Fraktionieren des Extraktes

Der wäßrige Extrakt von (a.) wurde näher auf seine Inhaltsstoffe untersucht. Mittels Ionenaustauscher wurde er in drei Fraktionen aufgeteilt: Zucker, Aminosäuren und organische Säuren. Für die Trennung waren zwei Ionenaustauscher nötig, ein Kationen- und ein Anionenaustauscher.

Als Kationenaustauscher diente Dowex 50 W x 8, mit H^+ beladen. Die Austauschersäule war 10 cm hoch und hatte einen Durchmesser von 1 cm.

Als Anionenaustauscher diente Dowex 1 x 8, mit Formiat beladen. Höhe der Säule war 15 cm, Durchmesser ebenfalls 1 cm.

Die Trennung erfolgte nach folgendem Prinzip: Der Probenextrakt

(bei Blättern und Stengeln 5 ml, bei Früchten und Wurzeln 10 ml) wurde auf den Kationenaustauscher gegeben und mit Wasser auf etwa 20 ml verdünnt. Der mit H^+ belegte Austauscher bewirkt durch Kationenumtausch in der Säule ein saures Milieu, so daß die Aminosäuren als Kationen gebunden werden. Nach Durchlauf der Lösung wurde mit Wasser so lange nachgespült, bis das Effluat eine neutrale Reaktion zeigte. Die beiden übrigen Fraktionen befanden sich im Effluat. Die Aminosäuren wurden dann mit 30 ml 2 n NH_4OH -Lösung aus dem Austauscher eluiert und der Austauscher mit 2 n HCl regeneriert.

Das Effluat des Kationenaustauschers wurde auf den Anionenaustauscher gegeben, der die organischen Anionen zurückhielt. Die gesamte Zuckerfraktion befand sich im Effluat. Die organischen Anionen wurden mit 5 n Ameisensäure aus dem Austauscher eluiert.

Die so gewonnenen drei Lösungen wurden im Rotationsverdampfer, wie vorher schon beschrieben, getrocknet und mit 10 ml Wasser aufgenommen. 1 oder 2 ml der Lösung wurden dann mit 10 ml Aquasol geschüttelt und im Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen. Die restlichen Lösungen wurden aufgehoben. Mittels dieser Verfahren war es möglich, eine Aussage über die Art der markierten, löslichen Assimilate zu machen.

In der Zuckerfraktion wurde neben der ^{14}C -Analyse auch noch eine papierchromatographische Bestimmung der einzelnen Zuckerarten vorgenommen.

Papierchromatographische_Zuckeranalysen

Die Zuckeranalysen erfolgten nach der von HEHL (1971) ausgearbeiteten absteigenden, eindimensionalen Papierchromatographie. Es fanden die beiden Papiersorten Macherey & Nagel "M & N 214" oder "M & N 261" Verwendung. Das Laufmittel hatte die Zusammensetzung Äthylacetat : Aceton : Propionsäure : Wasser : Isopropanol : n-Butanol = 4 : 3 : 3 : $2^{1/2}$: 2 : 1 (v/v). Dieses Laufmittel ist in der Lage, die in der Tomate vorhandenen Zuckerarten befriedigend zu trennen.

Es wurden zuerst die durch Ionenaustausch isolierten Zuckerlösungen chromatographiert. Das fast vollständige Fehlen der Saccharose in den Chromatogrammen jedoch gerechtfertigte den Verdacht, daß die evtl. vorhandenen Di- und höhere Saccharide während des Ionenaustausches zum Teil hydrolysiert worden sind. Der wäßrige Extrakt aus (a.) kann aber auch direkt für die Zuckeranalyse verwendet werden, ohne vorherige Entfernen der Amino- und organischen Säuren (HEHL, mündliche Mitteilung). Diese Extrakte wurden deshalb für die Zuckeranalyse verwendet. Die Probelösungen wurden auf den Startpunkten mit einer 10 μ l-Mikropipette der Firma Eppendorf aufgetragen. Die günstigste Auftragsmenge ist in Vorversuchen zu ermitteln.

Die Entwicklungszeit der Chromatogramme betrug 32 Stunden bei einer konstanten Temperatur von 22°C im Chromatographieraum. Vorheriges Äquilibrieren erwies sich als unnötig. Zum Erkennen der Flecken auf dem Papier dienten zwei Farbreaktionen, die Zucker beim Erhitzen mit organischen Reagenzien geben (für Literatur siehe HEHL 1971).

Als Nachweisreagenz (Sprühreagenz) für Ketosen bewährte sich ein Gemisch aus: 2 g Orcin, 60 g Trichloressigsäure, 20 ml Wasser, mit absolutem Äthanol auf 500 ml aufgefüllt. Das Chromatogramm muß hiermit gleichmäßig angesprüht und danach 20 Min. bei 105°C getrocknet werden. Als Nachweisreagenz für Aldosen wurde ein Gemisch aus: 5 ml Anilin, 8 g Phthalsäure, 20 ml Wasser, mit absolutem Äthanol auf 500 ml aufgefüllt, verwendet. Die Farbflecken wurden sichtbar nach 10 Min. Trocknen bei 105°C. Die Identifikation der unbekannten Zucker im Pflanzenextrakt ermöglicht ein Vergleich mit Testzuckern, die einzeln oder im Gemisch auf dem Chromatogramm mitliefen.

Zuerst kamen qualitative Zuckerbestimmungen aus inaktiven Proben zur Durchführung, danach wurden die mit ^{14}C markierten Proben in gleicher Weise chromatographiert. Neben den markierten Proben, auf Teststreifen, liefen gleich behandelte inaktive Proben, die zur indirekten Identifizierung der getrennten Zuckerarten dienten: Nach dem Chromatographieren wurde der Teststreifen vom übrigen Bogen getrennt, mit Farbreagenz besprüht und getrocknet. Die mit ^{14}C markierten Zucker wurden mit Hilfe von den auf dem Teststreifen sichtbaren Zuckerflecken blind bei gleichem Abstand vom Start ausgeschnitten und mit 3 ml Wasser eluiert. In einer Mischung von 2 ml Probeflösung und 10 ml Aquasol konnte die ^{14}C -Markierung dieser Eluate im Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen werden. Diese indirekte Auswertung erwies sich jedoch als etwas unsicher, weil die R_f -Werte selbst gleicher Zuckerarten nicht immer vollkommen übereinstimmten. Es wurde deshalb eine direkte Bestimmung ausprobiert. Nach dem Entwickeln wurde das ganze Chromatogramm mit dem

Anilinphthalatreagens besprüht, und nach der Farbentwicklung wurden die einzelnen Zuckerflecken ausgeschnitten. Jeder Fleck wurde mit 2 ml 75-80%iger H_2SO_4 eine Minute lang bei 60°C auf dem Wasserbad erhitzt, dann wurden 2 ml Wasser dazugegeben, geschüttelt und zentrifugiert. Das Papier hydrolysierte dabei, ohne die Probe schwarz zu färben. Von der klaren Lösung wurden 2 ml mit 10 ml Aquasol geschüttelt und im Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen. Aus den Meßergebnissen ließ sich die Verteilung der ^{14}C -Markierung auf die verschiedenen Zuckerarten errechnen. Diese direkte Methode gab zwar gut reproduzierbare Werte, aber die Zählausbeute war sehr niedrig.

III. VERSUCHSERGEBNISSE

1. Mineralstoffverteilung

a. Kalium

Die Tabelle 2 zeigt die K-Gehalte in der Trockensubstanz im Verlauf der Vegetation bei den drei unterschiedlich mit Kalium ernährten Varianten. Es wird deutlich, daß in den vier untersuchten Pflanzenorganen - Blatt, Frucht, Stengel, Wurzel - die niedrigsten K-Gehalte in der K_1 -Variante vorliegen. In dieser unzureichend mit K^+ versorgten Variante zeigt sich auch im Verlauf der Vegetation ein deutlicher Abfall der K-Gehalte, der besonders ausgeprägt in den Gehalten der Blätter, Stengel und Wurzeln und weniger in den K-Gehalten der Früchte zum Ausdruck kommt. In den beiden anderen

Tabelle 2 : Der K-Gehalt als % K^+ in der Trockensubstanz im Verlauf der Vegetationszeit 1969
 $K_1 = 2 \text{ mmol } K^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol } K^+/l$
in der Nährlösung

Erntetermin	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter							
K_1		1,0	1,3	1,5	1,0	1,1	0,5
K_2	2,9	2,5	3,4	3,1	3,0	3,5	3,3
K_3		3,3	4,1	4,0	3,9	4,1	4,2
Früchte							
K_1		2,2	2,2	2,3	1,8	1,8	1,6
K_2		2,8	3,0	2,8	2,6	2,6	2,5
K_3		2,7	2,7	3,3	2,9	2,8	2,7
Stengel							
K_1		1,4	1,3	1,2	0,8	0,7	0,3
K_2	8,8	2,6	2,6	2,8	2,4	2,4	1,8
K_3		2,6	3,1	3,4	3,2	3,2	3,2
Wurzeln							
K_1		0,8	1,2	0,6	0,4	0,5	0,2
K_2	1,7	4,7	4,4	2,2	2,7	4,3	2,2
K_3		4,3	5,2	4,4	3,7	3,9	2,4

K-Düngungsstufen bleibt der K-Anteil über die gesamte Vegetationszeit - von einigen Ausnahmen abgesehen - ziemlich konstant. Die höchste K-Düngungsvariante (K_3) zeigte teils unwesentlich erhöhte K-Gehalte gegenüber K_2 . Der Trend ist jedoch nicht eindeutig. Aus der Tabelle 2 läßt sich klar erkennen, daß bei einer Unterversorgung an K^+ (Variante K_1) die Pflanze das für die Früchte benötigte K^+ weitgehend aus anderen Pflanzenorganen, vor allem aus den Wurzeln, mobilisiert. Dementsprechend wurde der K-Gehalt der Wurzeln durch die unzureichende K-Ernährung (K_1) am stärksten erniedrigt, während der K-Gehalt der Früchte am geringsten von der unterschiedlichen K-Zufuhr beeinflußt wurde.

b. Natrium

Die in der Tabelle 3 aufgeführten Na-Gehalte der oberirdischen Pflanzenteile sind um mehr als eine Zehnerpotenz niedriger als die entsprechenden K-Gehalte. Diese Daten zeigen deutlich, daß *Solanum lycopersicum* eher eine natrophobe als eine natrophile Pflanze ist. Interessanterweise sind die Na-Gehalte der Wurzeln wesentlich höher als die der oberirdischen Pflanzenteile, ein Befund, der auch bei anderen Pflanzenarten beobachtet wurde (SCHARER und MENGEL 1960, MARSCHNER und SCHAFARCYK 1967). In den Na-Gehalten der Wurzeln spiegelt sich auch der Einfluß der K-Ernährung wider. Je höher das K-Angebot war, umso niedriger waren die Na-Werte. Dementsprechend liegen in der K_1 -Variante beachtlich hohe Na-Gehalte vor. Die Pflanze versucht hier offenbar, die ungenügende K-Anlieferung durch eine erhöhte Na-Aufnahme zu kompensieren. Die Na-Transportrate aus den Wurzeln zu den oberirdischen Pflanzenteilen ist niedrig, so daß selbst in den ungenügend mit K^+ ver-

Tabelle 3: Der Na-Gehalt als % Na^+ in der Trockensubstanz im Verlauf der Vegetationszeit 1969
 $\text{K}_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$, $\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$, $\text{K}_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$
in der Nährlösung

Erntetermin	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter							
K_1		0,18	0,26	0,30	0,40	0,43	0,40
K_2	0,21	0,16	0,20	0,19	0,19	0,21	0,19
K_3		0,16	0,23	0,17	0,20	0,21	0,18
Früchte							
K_1		0,06	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10
K_2		0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
K_3		0,08	0,10	0,07	0,06	0,06	0,06
Stengel							
K_1		0,17	0,22	0,28	0,36	0,39	0,43
K_2	0,43	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,19
K_3		0,17	0,14	0,13	0,15	0,18	0,20
Wurzeln							
K_1		1,54	1,12	1,28	1,00	1,02	0,56
K_2	0,24	0,27	0,34	0,21	0,28	0,36	0,25
K_3		0,11	0,22	0,19	0,20	0,21	0,15

sorgten Pflanzen keine besonders hohen Na-Gehalte in Blättern, Früchten oder Stengeln erreicht wurden. Es zeigt sich jedoch in den Pflanzen der K_1 -Variante, daß in den Blättern und Stengeln mit fortschreitender Vegetationszeit eine gewisse Na-Anreicherung erfolgte. In den Früchten liegt diese Tendenz interessanterweise nicht vor. Diese Na-Diskriminierung der Früchte wird an anderer Stelle noch näher diskutiert.

c. Kalzium

Die Ca-Gehalte der verschiedenen Pflanzenorgane im Verlauf der Vegetationszeit sind in der Tabelle 4 zusammengefaßt. In allen Pflanzenteilen sind in der unzureichend mit K^+ versorgten Variante (K_1) die höchsten Ca-Werte zu verzeichnen. Für Blätter und Stengel zeigt sich weiterhin, daß in der K_3 -Stufe die niedrigsten Ca-Gehalte vorliegen. Früchte und Wurzeln zeigen diese Tendenz für die besagten zwei Varianten jedoch nicht deutlich. Die absolut niedrigsten Ca-Gehalte weisen die Früchte auf. Abgesehen von den Früchten der ersten Zwischenernte (30. Juni) bleibt der Ca-Anteil der Früchte über die gesamte Vegetationszeit hin ziemlich konstant. Der Ca-Gehalt der Blätter steigt dagegen mit fortschreitender Vegetationszeit deutlich an, ein Befund, der auch von anderen Pflanzenarten bekannt ist (SMITH 1962). Die Wurzeln zeigen ebenfalls diesen Anstieg des Ca-Gehaltes in Abhängigkeit vom physiologischen Alter. Dieses Ergebnis verdient deshalb besonderes Interesse, weil die Wurzeln im Gegensatz zu den Blättern nicht die Endstationen des Transpirationsstromes darstellen.

Tabelle 4: Der Ca-Gehalt als % Ca^{2+} in der Trockensubstanz im
Verlauf der Vegetationszeit 1969,
 $\text{K}_1 = 2 \text{ mmol K}^+/1$, $\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/1$, $\text{K}_3 = 20 \text{ mmol K}^+/1$
in der Nährlösung.

Erntetermin	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter							
K_1		2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,7
K_2	2,0	2,4	2,7	2,9	3,5	3,8	4,2
K_3		1,6	1,9	2,5	2,6	2,4	3,3
Früchte							
K_1		0,26	0,09	0,14	0,09	0,11	0,09
K_2		0,55	0,09	0,08	0,06	0,09	0,08
K_3		0,17	0,06	0,10	0,07	0,05	0,07
Stengel							
K_1		1,17	0,96	1,19	1,28	1,15	1,16
K_2	1,5	0,92	0,77	0,97	1,02	1,05	1,00
K_3		0,70	0,64	0,85	0,89	0,72	1,05
Wurzeln							
K_1		0,62	0,61	1,7	3,3	3,1	3,9
K_2	1,15	0,47	0,47	1,2	2,3	1,6	3,2
K_3		0,49	0,49	1,2	3,1	2,9	3,3

d. Magnesium

Die Mg-Gehalte der einzelnen Pflanzenorgane sind in der Tabelle 5 dargestellt. Mit steigender K-Zufuhr nehmen die Mg-Gehalte in Blättern, Stengeln und Wurzeln ab. Dieser sogenannte K/Mg-Antagonismus ist besonders in der Jugendentwicklung der Pflanzen nicht sehr groß, wird aber später deutlicher. Bei den Mg-Werten der Wurzeln spiegelt sich die umgekehrte Tendenz wider. Hier ist der K/Mg-Antagonismus in der jungen Pflanze stärker ausgeprägt. Dieser Befund erklärt sich hauptsächlich damit, daß in der K_1 -Variante mit dem Altern der Pflanze der Mg-Gehalt in den Stengeln und noch stärker in den Blättern ansteigt. Bei den Wurzeln zeigt sich ein umgekehrter Trend. Die absolut niedrigsten Mg-Werte werden in den Früchten gefunden. Sie liegen in der Größenordnung der Ca-Gehalte (siehe Tabelle 4). Die Mg-Gehalte der Früchte wurden durch die unterschiedliche K-Versorgung nicht beeinflusst. Die in den vegetativen Organen so häufig gefundenen Kationenantagonismen kommen offenbar in den Früchten weniger zum Ausdruck. Auch LINSER und HERWIG (1968) fanden, daß der Mg-Gehalt in Leinsamen durch eine verstärkte K-Ernährung eher erhöht als erniedrigt wird.

e. Phosphor

Mit fortschreitender Vegetationszeit fallen die P-Gehalte der Früchte und Stengel ab (Tabelle 6). Die P-Gehalte der Blätter bleiben bei allen K-Varianten nahezu konstant. Der P-Haushalt der Wurzeln unterscheidet sich völlig von dem der oberirdischen Pflanzenorgane. Unabhängig von dem K-Ernährungszustand steigt der P-Gehalt der Wurzeln sehr steil an, bis er am Ende der Vegetationszeit

Tabelle 5 : Der Mg-Gehalt als % Mg^{2+} in der Trockensubstanz im Verlauf der Vegetationszeit 1969
 $K_1 = 2 \text{ mmol } K^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol } K^+/l$
in der Nährlösung

Erntetermin	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter							
K_1		0,24	0,27	0,28	0,34	0,38	0,61
K_2	0,38	0,24	0,28	0,29	0,28	0,27	0,27
K_3		0,21	0,23	0,22	0,18	0,16	0,15
Früchte							
K_1		0,13	0,09	0,10	0,08	0,07	0,07
K_2		0,18	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08
K_3		0,16	0,12	0,12	0,11	0,09	0,09
Stengel							
K_1		0,29	0,29	0,38	0,39	0,42	0,40
K_2	0,47	0,18	0,29	0,34	0,32	0,40	0,28
K_3		0,23	0,26	0,28	0,27	0,30	0,42
Wurzeln							
K_1		0,94	0,74	0,80	0,55	0,58	0,33
K_2	0,55	0,42	0,37	0,31	0,31	0,37	0,31
K_3		0,33	0,33	0,29	0,28	0,31	0,26

Tabelle 6: Der P-Gehalt als % P in der Trockensubstanz im Verlauf der Vegetationszeit 1969,
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$
 in der Nährlösung.

Erntetermin		7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter	K_1		0,32	0,36	0,37	0,35	0,36	0,43
	K_2	0,50	0,33	0,36	0,31	0,31	0,34	0,32
	K_3		0,34	0,32	0,37	0,31	0,34	0,34
Früchte	K_1		0,48	0,48	0,46	0,26	0,31	0,34
	K_2		0,47	0,47	0,45	0,35	0,32	0,31
	K_3		0,42	0,42	0,44	0,34	0,29	0,31
Stengel	K_1		0,52	0,39	0,35	0,28	0,22	0,28
	K_2	0,59	0,44	0,37	0,36	0,29	0,25	0,23
	K_3		0,40	0,37	0,25	0,26	0,18	0,20
Wurzeln	K_1		0,73	0,61	1,24	2,23	2,07	2,59
	K_2	0,24	0,71	0,59	0,72	1,61	1,32	2,40
	K_3		0,59	0,66	0,92	2,16	2,20	2,49

die zehnfache Höhe des Anfangswertes erreicht hat. Die Tabelle 6 zeigt weiterhin, daß die K-Zufuhr keinen direkten Einfluß auf die Aufnahme sowie die Verteilung des P hatte.

2. Ertragsbildung

Die unterschiedliche K-Versorgung machte sich auch in der Ertragsbildung bemerkbar. Die mittlere K-Variante (K_2) ergab den höchsten Fruchtertrag und wie Tabelle 7 zeigt, war die Frischmasse der verschiedenen Pflanzenorgane bei dieser Variante während der ganzen Vegetationszeit die höchste. Diese Ertragsdifferenzierung in den drei Varianten nahm mit dem Alter der Pflanzen zu. Im Mangelbereich befand sich deutlich die niedrigste K-Stufe (K_1), das wird auch im Hinblick auf die Erträge sichtbar (Tabelle 7): Je weiter die Vegetationszeit fortgeschritten war, umso größer wurden die Unterschiede in den Erträgen zwischen den Varianten K_1 und K_2 .

Bei der höchsten K-Stufe (K_3) lag offenbar eine Überversorgung an Kalium vor. Eine Ertragsdepression gegenüber der Variante K_2 , als ein Zeichen des Überschreitens der optimalen Nährstoffzufuhr, wurde in allen Pflanzenorganen deutlich (Tabelle 7). In dieser Tabelle sind bei den Fruchterträgen grüne und ausgereifte Früchte zusammengefaßt und zwar ist bei den ersten Ernten der Anteil an grünen Früchten größer als bei den späteren Ernten. Die letzte Ernte (10. November) bezieht sich, wie bereits erwähnt, auf voll ausgereifte Früchte, die im Verlauf der Vegetationszeit gesammelt wurden. Nur diese Ernte, in der Tabelle 7 unter den Erntetermin 10.11. ausgeführt, ist im Grunde genommen repräsentativ für den Gesamtertrag.

Tabelle 7 : Entwicklung des Ertrags bei der Tomate.

Die Erträge zu den verschiedenen Ernteterminen im Jahre 1969 als Gramm Frischmasse pro Pflanze (Mittelwerte von jeweils 4 Pflanzen)

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$
in der Nährlösung

Erntetermin	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
Blätter							
K_1		152	198	223	197	271	178
K_2	42	165	252	268	310	436	403
K_3		130	208	168	252	249	275
Früchte							
K_1		57	199	848	1430	2123	3268*
K_2		35	220	789	1558	3049	5215*
K_3		29	150	883	1697	2314	4185*
Stengel							
K_1		258	308	335	332	383	355
K_2	28	269	359	376	451	505	519
K_3		208	317	293	397	351	427
Wurzeln							
K_1		143	160	157	158	172	136
K_2	17	161	187	182	216	227	195
K_3		137	164	146	184	164	133

* Gesamtertrag an reifen Früchten

3. Pflanzenkrankheiten und Mangelercheinungen

Im Jahre 1969 wurden an zahlreichen Früchten "Grünkragen" beobachtet, eine verhärtete, dunkelgrüne Fruchtbasis, die bei der Ausreife der Früchte gelblich orange gefärbt und holzartig blieb. Hierbei fiel auf, daß gerade bei den weniger gut mit K^+ versorgten Pflanzen diese Krankheit besonders häufig auftrat, während in den Varianten K_2 und K_3 der Anteil an "Grünkragen-Früchten" gering war. Auf den Zusammenhang zwischen K-Mangel und "Grünkragen" wird von verschiedenen Autoren hingewiesen (WINSOR 1966, ROORDA VAN EYSINGA 1966, WOODS 1964, FORSTER 1971).

An den Früchten der höchsten K-Variante trat in einigen Fällen Blütenendfäule auf. Diese Krankheit wird einem ungünstigen K/Ca-Verhältnis zugeschrieben (VAN GOOR 1968, WIERSUM 1966), das in diesem Fall anscheinend durch das überhöhte K-Angebot hervorgerufen wurde. Blütenendfäule wurde besonders in Perioden mit hoher Luftfeuchtigkeit beobachtet.

Die bei den Blättern der Pflanzen der K_3 -Variante aufgetretenen chlorotischen Mg-Mangelercheinungen, die auch analytisch festzustellen waren (Tabelle 5, Blätter), sind ebenfalls auf ein Überangebot an K^+ zurückzuführen. Diese Mangelercheinungen sind nicht durch ein unzureichendes Nährstoffangebot in der Nährlösung verursacht worden, vielmehr handelt es sich hier um ein ungünstiges K/Mg-Verhältnis in der Nährlösung. Die beiden anderen K-Varianten waren trotz gleicher Mg-Gaben von den beschriebenen Mangelercheinungen frei. Diese Mangelsymptome konnten zum Teil behoben werden, indem das K/Mg-Verhältnis zu Gunsten des Mg^{2+} durch erhöhte Mg-

Gaben zur Nährlösung verschoben wurde.

4. Kationenspektrum der einzelnen Pflanzenorgane

Die unterschiedliche Verteilung der einzelnen Kationen auf die verschiedenen Pflanzenorgane in Abhängigkeit von dem K-Ernährungszustand und der Vegetationszeit wird deutlich, wenn man den prozentualen Anteil der einzelnen Kationen in jedem Organ graphisch darstellt (Totalgehalt der Kationen in der Pflanze = 100%). Die Verteilung des K^+ ist in den Abbildungen 1-4 dargestellt. Für die beiden ausreichend mit K^+ versorgten Varianten, K_2 und K_3 , laufen die Kurven aller vier Abbildungen dicht beieinander. Die Kurven für die Variante K_1 haben die gleiche Form wie die zwei anderen: Der relative Anteil an K^+ in den Blättern, Stengeln und Wurzeln nimmt im Verlauf der Vegetationszeit ständig ab, während der relative Anteil in den Früchten ansteigt. Die Abbildung 2 zeigt, daß bei der mit K^+ unterversorgten Variante (K_1) der relative Anteil von K^+ in den Früchten besonders hoch ist, am Ende der Vegetationszeit befindet sich fast 90% des Gesamt- K^+ der Pflanze in den Früchten. Diese Anreicherung geht auf Kosten der übrigen Pflanzenorgane, dort liegen die Kurven deutlich niedriger als die der anderen beiden K-Varianten.

Es entsteht die Frage, ob das im Minimum vorliegende K^+ durch andere Kationen substituiert werden kann. Über diese Fragen geben die Abbildungen 5-16 mit den relativen Verteilungen von Na^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} Auskunft. Die Abbildungen 5-8 zeigen die relative Verteilung des Na^+ . In den Früchten der Variante K_1 (Abbildung 6) ist der relative Anteil von Na^+ niedriger als bei den anderen Stufen,

in den Stengeln am Ende der Vegetationszeit etwas höher. Der relative Na-Gehalt der Blätter ist am Ende der Vegetationszeit bei allen drei Varianten etwa gleich. Zu Beginn des Versuchs ist der relative Anteil des Na^+ in den Wurzeln bei der Gruppe K_1 sehr hoch, nimmt aber im Verlauf der Wachstumsperiode sehr stark ab und liegt am Schluß auf dem gleichen Niveau wie bei den anderen Varianten (Abbildung 8).

Die relativen Gehalte der oberirdischen Pflanzenteile an Ca^{2+} unterscheiden sich voneinander wenig (Abbildungen 9-11); die Ca-Kurven der Wurzeln verlaufen uneinheitlich (Abbildung 12) und lassen deshalb keine genaue Aussage zu.

Der relative Gehalt an Mg^{2+} zeigt das umgekehrte Bild wie der von K^+ . Die Früchte der Variante K_1 haben den geringsten Mg-Anteil (Abbildung 14); bei den Blättern steigt der relative Anteil von Mg^{2+} im Verlauf der Vegetationszeit langsam an, während er bei den anderen Varianten etwas abnimmt (Abbildung 13). Bei den Stengeln sind die Unterschiede gering (Abbildung 15). Der relative Anteil an Mg^{2+} in den Wurzeln nimmt bei allen K-Stufen im Verlauf der Wachstumsperiode ab; die Variante mit der niedrigsten K-Ernährung (K_1) hat in den Wurzeln den höchsten relativen Mg-Gehalt (Abbildung 16).

An Hand dieser graphischen Darstellungen kann man folgern, daß der durch die nicht ausreichende K-Ernährung verursachte niedrige K-Gehalt in den Blättern vor allem durch Mg^{2+} , in den Stengeln durch Na^+ und in den Wurzeln sowohl durch Na^+ als auch durch Mg^{2+} substituiert wird.

Die relative Verteilung von P (Abbildungen 17-20) zeigt keine Abhängigkeit von der unterschiedlichen K-Ernährung.

Das Kationenspektrum der einzelnen Pflanzenorgane wird jedoch am anschaulichsten, wenn man den Gehalt jedes einzelnen Kations als Milliäquivalent pro Gewichtseinheit ausdrückt und die so erhaltenen Kationensummen vergleicht. Das ist in den Tabellen 8-11 geschehen.

In den Blättern und Wurzeln veränderte sich die Kationensumme nur wenig durch den Einfluß unterschiedlicher K-Ernährung. Die durch unzureichende K-Zufuhr verursachte Depression im K-Gehalt wurde dabei nicht nur durch eine Kationenart kompensiert. Die Variante K_1 zeigte den verhältnismäßig stärksten Anstieg im Gehalt an Na^+ und Mg^{2+} . Bei der letzten Ernte am 10. November wiesen die Blätter der Gruppe K_1 17,5 me Na^+ und 49,9 me $Mg^{2+}/100$ g Trockensubstanz gegenüber 8,2 me Na^+ und 22,4 me Mg^{2+} bei der Variante K_2 auf.

Absolut gesehen war die Erhöhung des Ca-Gehaltes am größten: 234,5 me $Ca^{2+}/100$ g Trockensubstanz bei K_1 gegenüber 209,6 me Ca^{2+} bei K_2 (Tabelle 8). In den Wurzeln zeigen sich analoge Beziehungen: Die niedrigen K-Gehalte der Variante K_1 wurden durch erhöhte Gehalte an Na^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} kompensiert (Tabelle 11).

Bei den Früchten und Stengeln konnte in der Variante K_1 gegenüber den beiden anderen Gruppen eine niedrigere Kationensumme festgestellt werden. Obwohl eine gewisse Erhöhung des Na- und Ca-Gehaltes in den Früchten bei der Variante K_1 im Vergleich zur K_2 gefunden wurde, reichte sie jedoch nicht aus, die Kationensumme auf das Niveau der beiden anderen Varianten zu erhöhen (Tabelle 9). In den Stengeln war ebenfalls Na^+ das Ion, das am meisten zur

Tabelle 8:

Kationenpektrum in den Blättern der Tomatenpflanze; Gehalt an Kalium, Natrium, Kalzium und Magnesium als me/100 g Trockensubstanz und prozentual; Äquivalentensumme = 100%

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/1$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/1$, $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/1$ in der Nährlösung

Ernte	7.5.	30.6.	14.7.	28.7.	11.8.	25.8.	10.11.
	me	me	me	me	me	me	me
	%	%	%	%	%	%	%
K_1							
K		24,7	33,2	37,9	26,6	27,1	12,5
Na		8,0	11,2	12,9	17,3	18,6	17,5
Ca		134,0	149,0	167,2	185,9	200,6	234,5
Mg		19,8	22,1	22,6	27,6	31,1	49,9
Σ		186,5	215,5	240,6	257,4	277,4	314,4
							4,0
							5,6
							74,6
							15,9
K_2							
K	73,3	64,7	86,4	78,3	76,7	90,5	83,4
Na	9,2	7,1	8,7	8,4	8,2	8,9	8,2
Ca	98,2	119,5	132,2	144,7	164,4	188,9	209,6
Mg	31,3	19,7	22,7	23,9	22,7	22,4	22,4
Σ	212,0	211,0	250,0	255,3	272,0	310,7	323,6
							25,8
							2,5
							64,8
							6,9
K_3							
K		84,6	45,7	40,8	39,7	105,9	107,4
Na		6,8	10,0	7,2	8,6	9,3	7,9
Ca		79,0	96,8	123,3	128,9	119,5	164,7
Mg		16,9	19,1	17,7	14,8	12,7	12,1
Σ		187,3	231,8	250,5	252,6	247,4	292,1
							36,8
							2,7
							56,4
							4,1

Tabelle 10 :

Kationenspektrum in den Stengeln der Tomatenpflanze. Gehalt an Kalium, Natrium, Kalzium und Magnesium als me/100 g Trockensubstanz und prozentual; Äquivalentensumme = 100%.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

Ernte	7.5.	30.6.		14.7.		28.7.		11.8.		25.8.		10.11.	
	me	%	me	%	me	%	me	%	me	%	me	%	
K_1													
K			36,8	29,2	33,8	29,3	31,7	23,5	19,7	15,0	16,1	12,9	7,9
Na			7,3	5,8	9,7	8,4	12,0	8,9	15,4	11,7	16,8	13,5	18,5
Ca			58,3	46,2	47,7	41,4	59,5	44,1	63,9	48,7	57,5	46,1	57,7
Mg			23,8	18,9	24,0	20,8	31,6	25,4	32,2	24,5	34,3	27,5	49,3
Σ			126,2		115,2		134,8		131,2		124,7		117,1
K_2													
K	225,5	65,4	66,8	46,8	67,5	49,3	71,6	46,5	62,4	42,7	62,4	40,2	45,5
Na	18,8	5,4	6,6	4,6	6,9	5,0	6,1	4,0	6,4	4,4	7,0	4,5	8,1
Ca	66,8	19,1	46,0	32,2	38,4	28,0	48,6	31,6	51,0	34,9	52,6	33,9	50,1
Mg	38,7	11,1	23,4	16,4	24,2	17,7	27,6	17,9	26,2	17,9	33,1	21,3	39,1
Σ	349,8		142,8		137,0		153,9		146,0		155,1		142,8
K_3													
K			67,6	52,3	79,3	57,0	86,4	54,8	81,3	52,6	80,8	54,0	82,4
Na			7,3	5,6	6,2	4,5	5,8	3,7	6,6	4,3	8,0	5,3	8,6
Ca			35,1	27,1	31,8	22,9	42,3	26,8	44,4	28,7	35,9	24,0	52,5
Mg			19,3	14,9	21,3	15,4	23,1	14,7	22,3	14,4	24,9	16,6	34,5
Σ			129,3		138,6		157,6		154,6		149,6		178,0

Tabelle 11: Kationenspektrum in den Wurzeln der Tomatenpflanze; Gehalt an Kalium, Natrium, Kalzium und Magnesium als me/100 g Trockensubstanz und prozentual; Äquivalentensumme = 100%
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$, $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

Ernte	7.5.		30.6.		14.7.		28.7.		11.8.		25.8.		10.11.	
	me	%	me	%	me	%	me	%	me	%	me	%	me	%
K_1														
K	19,2		10,4		30,7		15,3		11,4		5,0			
Na	58,1		31,3		48,7		55,7		41,5		16,9		4,7	2,0
Ca	30,7		16,5		30,4		86,1		164,9		59,6		15,7	6,6
Mg	77,5		41,8		60,4		65,8		45,0		18,4		192,1	80,2
Σ	185,5		170,2				222,9		262,8		239,6		27,1	11,3
K_2														
K	43,2	27,9	119,2	63,2	112,5	61,9	57,3	38,1	68,5	31,3	47,1	56,8	22,3	37-
Na	10,3	6,6	11,6	6,2	14,8	8,1	9,3	6,2	12,1	5,5	6,7	11,0	4,3	
Ca	56,2	36,3	23,6	12,5	23,5	12,9	58,4	38,9	112,9	51,6	33,2	161,0	63,2	
Mg	45,2	29,2	34,1	18,1	30,8	17,0	25,2	16,8	25,3	11,6	13,0	25,8	10,1	
Σ	154,9		181,6				150,2		218,8		234,6			
K_3														
K	111,1		64,7		134,3		112,5		93,6		35,9		24,3	
Na	9,0		5,2		9,4		8,2		8,7		3,3		2,3	
Ca	24,7		14,4		24,5		60,0		154,4		51,8		165,2	
Mg	26,9		15,7		27,4		23,8		23,4		9,1		21,4	
Σ	171,7		193,6				204,5		280,1		279,4		252,2	

Substitution des K^+ beitrug. Es war jedoch nicht in der Lage, die durch K-Mangel verursachte Depression in der Kationensumme auszugleichen (Tabelle 10).

In den Tabellen 8-11 sind auch die prozentualen Anteile der einzelnen Kationenarten an der Gesamtkationensumme aufgeführt. Unter der Annahme, daß die K_2 -Variante eine optimale K-Ernährung darstellt - sie erbrachte den höchsten Fruchtertrag (Tabelle 7) - darf angenommen werden, daß ein K-Anteil von 25-30% an der Gesamtkationensumme in den Blättern als Zeichen für eine gute K-Versorgung anzusehen ist. Die entsprechenden Werte für die Wurzeln und Stengel schwanken in der K_2 -Variante zwischen etwa 30 und 60% K-Anteil und zwar fallen sie mit dem Altern der Pflanzen deutlich ab. Auffallend ist wiederum, daß der prozentuale K-Anteil an der Gesamtkationensumme in den Früchten unabhängig von der K-Ernährung ziemlich konstant bleibt und etwa zwischen 70 und 85% liegt. Dieser Befund läßt somit, wie bereits oben schon herausgestellt, deutlich erkennen, daß die Früchte vorrangig ihren K-Bedarf auf Kosten anderer Pflanzenorgane decken. Die sehr niedrigen prozentualen K-Anteile in den Wurzeln, Stengeln und Blättern der K_1 -Variante verdeutlichen das ebenfalls. Weiterhin ist den Daten der Tabellen 8-11 zu entnehmen, daß die Früchte im Vergleich zu den anderen Pflanzenorganen mit Abstand den höchsten prozentualen K-Anteil an der Kationensumme aufweisen.

5. Transport organischer Stoffe

Im Jahre 1970 stand, wie schon erwähnt, der Transport organischer Stoffe im Blickpunkt. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von radioaktiver Markierung mit dem Isotop ^{14}C durchgeführt.

Vorerst wurde der K-Ernährungszustand der unterschiedlich mit K^+ ernährten Versuchspflanzen durch Mineralstoffanalyse an Blattproben geprüft. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 12 zusammengefaßt. In den unterschiedlich mit K^+ ernährten Pflanzen wurden unterschiedliche K-Gehalte in den Blättern gefunden, die Variante K_2 mit der höheren K-Gabe wies den höheren K-Gehalt auf. Der K-Gehalt der Variante K_1 beim zweiten Ansatz betrug 2,2%, was auf einen guten Ernährungszustand hindeutet. Die K-Gabe wurde darum später auf $\text{K}_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ erniedrigt. Der K-Gehalt der Blätter nahm dadurch etwas ab; jedoch wurde mit einem K-Gehalt von 1,8% in der Trockensubstanz noch kein akuter K-Mangel hervorgerufen. Es kann also anhand der Tabelle 12 betont werden, daß in den hier beschriebenen Versuchen in keinem Fall mit K-Mangelpflanzen gearbeitet wurde. Die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Varianten K_1 und K_2 in den Assimilationsversuchen beruhen lediglich auf dem unterschiedlichen K-Ernährungszustand der Versuchspflanzen.

In den zweiten und dritten Ansätzen waren die K-Konzentrationen der Nährlösungen so gewählt worden, daß keine größeren Ertragsunterschiede zu erzielen waren (Tabelle 13). Das war beabsichtigt, um nicht durch allzu unterschiedlichen Wuchs in beiden Varianten scheinbare Fehlermöglichkeiten einzubeziehen. Lediglich beim letzten Ansatz wurde für die K_1 -Variante eine absichtlich niedrige K-Kon-

Tabelle 12: Mineralstoffgehalte der Blätter der unterschiedlich mit K^+ ernährten Pflanzen im Jahre 1970, ausgedrückt als Prozent Kalium, Kalzium und Magnesium in der Trockensubstanz.

	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
<u>Ansatz 1</u>			
Einheitliche K-Ernährung			
10 mmol K^+/l	4,1	3,3	0,50
<u>Ansatz 2</u>			
K_1 (1 mmol K^+/l)	2,2	4,3	0,46
K_2 (10 mmol K^+/l)	4,1	3,3	0,50
Kontrolle (10 mmol K^+/l , Pflanzen nicht dekapitiert)	2,6	2,5	0,30
<u>Ansatz 3</u>			
K_1 (0,4 mmol K^+/l)	1,8	4,6	0,57
K_2 (10 mmol K^+/l)	5,0	2,5	0,36

zentration gewählt, um die Assimilatverteilung auch bei unterschiedlichem Wuchs studieren zu können. Die in der Tabelle 13 aufgeführten Daten für die Fruchtgewichte sind nicht repräsentativ für den Fruchtertrag, da alle Pflanzen in ihrer Fruchtzahl auf fünf reduziert wurden. Es verblieben jeweils die fünf größten Früchte an der Pflanze.

a. Versuche mit nicht abgedunkelten Früchten

Die in 75%igem Äthanol lösliche Fraktion

Das Meßverfahren wurde schon an einer anderen Stelle beschrieben. Die Zählausbeute betrug in den verschiedenen Messungen zwischen 70 und 80%. Sie wurde für jede Messung mit Hilfe von zugegebenem ^{14}C neu ermittelt. Die Meßergebnisse lagen zunächst als Impulse/Probe/Minute (cpm) vor; sie wurden dann auf Gramm Frischsubstanz (cpm/1 g FS) und für die Gesamtmasse des jeweiligen Pflanzenorgans (cpm/Tot.) umgerechnet. Anhand der Gesamtimpulszahlen wurde die relative Verteilung der mit ^{14}C markierten Stoffe errechnet.

Zuerst sollte bestimmt werden, wie lange es dauert, bis in den Früchten meßbare Mengen an markierten Substanzen vorhanden sind. Dieser Frage wurde in der Ernte am 8. Juli nachgegangen. Bei diesem Ansatz wurde nur mit einer K-Variante gearbeitet. Es wurden acht Tomatenpflanzen in dem Kasten eingeschlossen und mit $^{14}\text{CO}_2$ behandelt. Die Pflanzenernte erfolgte in Abständen von zwei Stunden, jeweils zwei Pflanzen als Parallelproben. Die ersten zwei Pflanzen wurden sechs Stunden nach dem Einführen des $^{14}\text{CO}_2$ geerntet; es wurde zwei Stunden lang begast, danach wurde der Kasten vier

Stunden mit Frischluft gespült und dann geöffnet. Die Zeitangaben im weiteren Text beziehen sich auf den Zeitpunkt des Öffnens der Glovebox, der als "Zeit 0 h" bezeichnet wird.

In den meisten nachstehend beschriebenen Versuchsergebnissen ist die Verteilung des markierten C auf die einzelnen Pflanzenorgane relativ wiedergegeben, d.h. die Gesamt- ^{14}C -Menge der Pflanze wurde jeweils = 100% gesetzt und der Anteil an ^{14}C in den verschiedenen Pflanzenteilen als prozentualer Anteil hiervon ausgedrückt. Dieses Verfahren ist deshalb besonders geeignet, da es individuelle Unterschiede der einzelnen Pflanzen in Morphologie und CO_2 -Assimilationsvermögen weitgehend eliminiert, die Verlagerung der Assimilate von den Blättern zu anderen Pflanzenorganen, besonders zu den Früchten aber klar erkennen läßt.

Die Prozentzahlen in der Tabelle 14 zeigen die relative Verteilung der mit ^{14}C markierten Substanzen in der löslichen Fraktion der verschiedenen Pflanzenorgane in Abhängigkeit von der Zeit. Mit fortschreitender Zeit nimmt der relative Anteil der markierten Assimilate in den Blättern ab, während in den Wurzeln und ganz besonders in den Früchten ein Anstieg zu beobachten ist. Diese Verlagerung der markierten Stoffe macht deutlich, daß organische Substanz in der Pflanze von den assimilierenden Organen (hauptsächlich Blättern) in Reserveorgane (Früchte, Wurzeln) transportiert wird. Der Tabelle 14 ist zu entnehmen, daß absolut gesehen die vorhandene Menge an ^{14}C in der löslichen Fraktion mit der Zeit abnimmt. Dieser Befund ist entweder auf den Umbau von markierten Stoffen in unlösliche Formen, auf Atmungsverluste, wahrscheinlich aber auf beide Prozesse zurückzuführen. Zum Zeitpunkt Null waren schon meßbare

Tabelle 14: Verteilung der markierten Assimilate in der in 75%igem Äthanol löslichen Fraktion der Tomatenpflanze in Abhängigkeit von der Zeit. Mittelwerte von jeweils 2 Pflanzen.
1. Absatz, Ernte am 8. Juli 1970.
K = 10 mmol K/l in der Nährlösung.

	0 h			2 h			4 h			6 h		
	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%
Blätter	$7,75 \cdot 10^5$	$9,69 \cdot 10^7$	50,2	$5,72 \cdot 10^5$	$9,19 \cdot 10^7$	48,5	$5,74 \cdot 10^5$	$5,60 \cdot 10^7$	41,6	$4,19 \cdot 10^5$	$4,54 \cdot 10^7$	31,4
Früchte	$1,10 \cdot 10^5$	$1,90 \cdot 10^7$	9,8	$1,55 \cdot 10^5$	$2,08 \cdot 10^7$	10,9	$1,87 \cdot 10^5$	$1,97 \cdot 10^7$	14,6	$2,35 \cdot 10^5$	$5,90 \cdot 10^7$	28,2
Stengel	$5,31 \cdot 10^5$	$5,88 \cdot 10^7$	30,4	$4,05 \cdot 10^5$	$5,14 \cdot 10^7$	27,0	$3,04 \cdot 10^5$	$4,19 \cdot 10^7$	31,1	$5,51 \cdot 10^5$	$5,24 \cdot 10^7$	25,4
Wurzeln	$0,83 \cdot 10^5$	$1,85 \cdot 10^7$	9,6	$1,07 \cdot 10^5$	$2,65 \cdot 10^7$	13,8	$0,59 \cdot 10^5$	$1,71 \cdot 10^7$	12,7	$1,08 \cdot 10^5$	$2,55 \cdot 10^7$	17,0
Σ		$19,32 \cdot 10^7$	100%		$19,04 \cdot 10^7$	100%		$13,47 \cdot 10^7$	100%		$13,83 \cdot 10^7$	100%

und ausreichende Mengen von ^{14}C -haltigen Substanzen in den Früchten vorhanden - es muß betont werden, daß dieser Zeitpunkt ja sechs Stunden nach dem Versuchsanfang lag.

Aufgrund dieser Befunde wurden in den weiteren Versuchen die Pflanz zu zwei verschiedenen Zeitpunkten geerntet : 0 h und 2 h.

Die Meßergebnisse der löslichen Fraktion des zweiten Ansatzes sind in der Tabelle 15 dargestellt, die des dritten Ansatzes in den Tabellen 16-18. Die Resultate des vierten Ansatzes werden später unter "abgedunkelte Früchte" besprochen.

Die an Parallelpflanzen als Impulsrate gemessenen Werte zeigten teils erhebliche Schwankungen. Es ist deshalb den Mittelwerten der Impulsraten (cpm/1 g FS) in den Tabellen 15-18 absolut gesehen keine allzu große Bedeutung beizumessen. Es können also aus diesen Daten keine Rückschlüsse von der K-Ernährung auf die CO_2 -Assimilation gezogen werden. Aussagekräftiger ist die relative Verteilung der markierten Assimilate in dem einzelnen Pflanzenorgan. Hier zeigt sich, daß von den gesamten löslichen markierten Assimilaten (=100%) bei guter K-Ernährung mehr markierte Assimilate von den Blättern in die Früchte transportiert wurden. Dieser Trend ist jedoch nicht in allen Ansätzen deutlich zu beobachten. Das gilt besonders für die Assimilate., die mit HClO_4 extrahiert wurden (Tabelle 16).

Zum Zeitpunkt Null wiesen die Früchte in der K_1 -Variante eine höhere relative Markierung auf als in der K_2 -Variante. Diese nicht ganz eindeutigen Ergebnisse erklären sich vermutlich damit, daß die in

Tabelle 15: Verteilung der markierten Assimilate in der in 75%igem Äthanol löslichen Fraktion der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Mittelwerte von jeweils 2 Pflanzen.
2. Ansatz, Brüte am 4. August 1970.
 $K_1 = 1 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	0 h				2 h			
	K_1		K_2		K_1		K_2	
	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.
Blätter	$5,98 \cdot 10^5$	$4,01 \cdot 10^7$	58,6	$2,32 \cdot 10^5$	$5,92 \cdot 10^7$	54,1	$2,46 \cdot 10^5$	$5,45 \cdot 10^7$
Früchte	$0,12 \cdot 10^5$	$0,44 \cdot 10^7$	3,2	$0,20 \cdot 10^5$	$0,70 \cdot 10^7$	6,4	$0,18 \cdot 10^5$	$0,75 \cdot 10^7$
Stengel	$2,81 \cdot 10^5$	$4,82 \cdot 10^7$	55,5	$2,52 \cdot 10^5$	$4,10 \cdot 10^7$	57,4	$2,20 \cdot 10^5$	$4,62 \cdot 10^7$
Wurzeln	$0,16 \cdot 10^5$	$0,59 \cdot 10^7$	2,9	$0,08 \cdot 10^5$	$0,25 \cdot 10^7$	2,1	$0,14 \cdot 10^5$	$0,45 \cdot 10^7$
Σ		$15,66 \cdot 10^7$	100%		$10,95 \cdot 10^7$	100%		$11,14 \cdot 10^7$
								100%

49,6
15,2
52,6
2,6

Tabelle 16: Verteilung der markierten Assimilate in der HClO_4 -löslichen Fraktion der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Mittelwerte von jeweils 2 Pflanzen.

3. Ansatz, Ernte am 20. August 1970.

$K_1 = 1 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	0 h				2 h			
	K_1	K_2			K_1	K_2		
	cpm/1gFS	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS. cpm/Tot.	cpm/1gFS. cpm/Tot.	%	cpm/1gFS. cpm/Tot.	%
Blätter	$3,79 \cdot 10^5$	$5,66 \cdot 10^7$	37,2	$5,11 \cdot 10^5$	$6,89 \cdot 10^7$	46,8	$3,68 \cdot 10^5$	$3,99 \cdot 10^7$
Früchte	$5,12 \cdot 10^5$	$4,81 \cdot 10^7$	51,6	$3,92 \cdot 10^5$	$3,82 \cdot 10^7$	26,0	$3,24 \cdot 10^5$	$3,47 \cdot 10^7$
Stengel	$2,81 \cdot 10^5$	$3,65 \cdot 10^7$	24,0	$1,87 \cdot 10^5$	$2,60 \cdot 10^7$	17,7	$1,40 \cdot 10^5$	$1,71 \cdot 10^7$
Wurzeln	$0,76 \cdot 10^5$	$1,11 \cdot 10^7$	7,3	$0,75 \cdot 10^5$	$1,40 \cdot 10^7$	9,5	$1,10 \cdot 10^5$	$1,61 \cdot 10^7$
Σ		$15,23 \cdot 10^7$	100%		$14,71 \cdot 10^7$	100%		$10,78 \cdot 10^7$
								$7,03 \cdot 10^7$
								100%

Tabelle 17: Verteilung der markierten Assimilate in der in 75%igem Äthanol löslichen Fraktion der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Mittelwerte vor jeweils 2 Pflanzen.
 3. Ansatz, Ernte am 1. September 1970.
 $K_1 = 1 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	0 h				2 h			
	K_1		K_2		K_1		K_2	
	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.	%	cpm/1gFS.	cpm/Tot.
Blätter	$5,92 \cdot 10^5$	$8,09 \cdot 10^7$	40,5	$7,19 \cdot 10^5$	$11,05 \cdot 10^7$	37,8	$4,18 \cdot 10^5$	$6,70 \cdot 10^7$
Früchte	$1,39 \cdot 10^5$	$5,52 \cdot 10^7$	17,6	$2,99 \cdot 10^5$	$8,84 \cdot 10^7$	50,2	$2,29 \cdot 10^5$	$0,41 \cdot 10^7$
Stengel	$5,91 \cdot 10^5$	$6,17 \cdot 10^7$	50,9	$4,74 \cdot 10^5$	$7,77 \cdot 10^7$	26,6	$2,39 \cdot 10^5$	$4,39 \cdot 10^7$
Wurzeln	$1,16 \cdot 10^5$	$2,22 \cdot 10^7$	11,1	$0,83 \cdot 10^5$	$1,59 \cdot 10^7$	5,4	$0,67 \cdot 10^5$	$1,37 \cdot 10^7$
Σ		$20,00 \cdot 10^7$	100%		$29,25 \cdot 10^7$	100%		$18,87 \cdot 10^7$
								100%

Tabelle 18: Verteilung der markierten Assimilate in der in 75%igem Äthanol löslichen Fraktion der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Mittelwerte von jeweils 2 Pflanzen.

3. Ansatz, Ernte am 10. September 1970.

$K_1 = 1 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	0 h				2 h			
	K_1 cpm/1gFS. cpm/Tot.	%	K_2 cpm/1gFS. cpm/Tot.	%	K_1 cpm/1gFS. cpm/Tot.	%	K_2 cpm/1gFS. cpm/Tot.	%
Blätter	$1,66 \cdot 10^5$	55,0	$2,04 \cdot 10^5$	47,4	$1,64 \cdot 10^7$	41,4	$2,08 \cdot 10^7$	50,4
Früchte	$0,19 \cdot 10^5$	8,4	$0,64 \cdot 10^5$	21,5	$0,93 \cdot 10^7$	23,5	$0,73 \cdot 10^7$	17,7
Stängel	$1,00 \cdot 10^5$	30,1	$1,28 \cdot 10^5$	30,1	$1,23 \cdot 10^7$	31,1	$1,20 \cdot 10^7$	29,1
Wurzeln	$0,16 \cdot 10^5$	6,5	$0,04 \cdot 10^5$	0,9	$0,16 \cdot 10^7$	4,0	$0,12 \cdot 10^7$	2,9
Σ	$5,69 \cdot 10^7$	100%	$7,80 \cdot 10^7$	100%	$3,96 \cdot 10^7$	100%	$4,13 \cdot 10^7$	100%

den Früchten gemessenen Impulsraten nicht nur auf transportierte Assimilate, sondern auch auf eine Eigenassimilation zurückgehen. Hierfür sprechen auch die ziemlich hohen Anteile der in den Früchten gefundenen markierten Assimilate an der Gesamtmenge der markierten Assimilate. Die Früchte dieser Versuchspflanzen waren durchweg noch grün und daher gut zur Assimilation befähigt. Die Früchte der am 4. August geernteten Pflanzen (Tabelle 15) waren voll ausgereift, dadurch erklärt sich der verhältnismäßig niedrige Anteil markierter Assimilate. Hier zeigte sich auch der Einfluß der K-Ernährung auf die Assimilatverlagerung zu den Früchten am deutlichsten. Es darf deshalb angenommen werden, daß durch die Eigenassimilation die Ermittlung des Assimilattransports zu den grünen Früchten nicht genau erfaßt werden konnte. Aus diesem Grunde wurden in den nächsten Versuchsansätzen mit "abgedunkelten" Früchten gearbeitet.

Die in 75%igem Äthanol unlösliche Fraktion

Ein Teil der assimilierten Substanzen wurde rasch in unlösliche Formen umgebaut. Die Verteilung der mit ^{14}C markierten Stoffe in der unlöslichen Fraktion wurde ebenfalls untersucht. Die relative Verteilung der markierten, unlöslichen Substanzen bei der Ernte vom 8. Juli (Ansatz mit nur einer K-Variante) ist in der Tabelle 19 dargestellt (vergl. Tabelle 14). Die Verschiebung der markierten Stoffe in der unlöslichen Fraktion läuft ähnlich wie in der löslichen Fraktion: Der Anteil markierter Stoffe in den Blättern nimmt im Verlauf der Zeit ab, bei den Früchten und Wurzeln ist dagegen ein Anstieg zu verzeichnen. Er ist besonders für die Früchte spektakulär, von 2,6% bis 16%. Das bedeutet, daß die in

Tabelle 19 : Relative Verteilung der markierten in 75%igem Äthanol unlöslichen Substanzen in der Tomaten - pflanze (Gesamtmarkierung der unlöslichen Stoffe =100%)
Ernte am 8.Juli 1970
Einheitliche K-Ernährung 10 mmol K⁺/l in der Nähr-
lösung.

<u>Zeit</u>	<u>Blätter</u>	<u>Früchte</u>	<u>Stengel</u>	<u>Wurzeln</u>
0 h	77%	2,6%	18%	2,6%
2 h	74	4,4	17	4,1
4 h	74	4,9	16	4,8
6 h	63	16	15	5,3

Tabelle 20 : Relative Verteilung der markierten in 75%igem Äthanol unlöslichen Substanzen in der Tomaten - pflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung (Gesamtmarkierung = 100%).
K₁ = 1 mmol K⁺/l, K₂ = 10 mmol K⁺/l in der Nähr-
lösung.

Ernte	Zeit	<u>Blätter</u>		<u>Früchte</u>		<u>Stengel</u>		<u>Wurzeln</u>	
		K ₁	K ₂	K ₁	K ₂	K ₁	K ₂	K ₁	K ₂
1.8.	0 h	72%	70%	0,7%	1,4%	27%	26%	1,3%	3,2%
0.9.		80	73	1,1	6,5	16	20	2,4	0,7
Ø		76	72	0,9	4,0	22	23	1,9	2,0
1.8.	2 h	71%	70%	1,2%	3,0%	27%	27%	1,3%	1,2%
0.9.		66	69	(10,9)	5,0	22	25	1,8	1,5
Ø		69	70	(6,1)	4,0	25	26	1,6	1,4

den Blättern in unlöslicher Form (hauptsächlich Stärke, Proteine) eingebauten Substanzen wieder abgebaut und in löslicher Form in andere Pflanzenorgane transportiert werden.

Die unlöslichen Fraktionen der unterschiedlich mit K^+ ernährten Pflanzen verhalten sich ähnlich wie die löslichen Fraktionen: Der relative Anteil der markierten Stoffe ist in den Früchten der Variante K_2 im allgemeinen höher als bei der Variante K_1 , in den Blättern ist wieder das Umgekehrte der Fall (Tabelle 20). Die Tabelle 20 zeigt unter dem Erntedatum 10. September in der K_1 -Variante in den Früchten einen extrem hohen Wert auf. Es bleibt hier offen, ob nicht dieser Wert durch irgendeine Zufälligkeit bewirkt wurde. Er wurde deshalb in Klammern gesetzt.

Gesamtmarkierung der Pflanzen

Die Gesamtmarkierung der Tomatenpflanzen konnte durch Verbrennungsanalyse des sofort nach der Ernte getrockneten Pflanzenmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 21 zusammengefaßt. Auch diese Betrachtungsweise zeigt, daß die meisten markierten Stoffe sich gleich nach beendeter Behandlung in den Blättern befinden. Der Gehalt an markierten Assimilaten in den Blättern nimmt jedoch durch den Abtransport recht schnell ab. Die Tabelle 21 zeigt, daß die Früchte von dem Stofftransport am meisten profitieren, aber eine Zunahme der markierten Stoffe ist auch in den Wurzeln zu beobachten. Auch hier zeigt sich wieder, daß in den meisten Fällen bei den Pflanzen der K_2 -Variante ein höherer Anteil an Assimilaten in die Früchte verlagert wurden. Bemerkenswert ist der rasche Rückgang der Gesamtmarkierung im Verlauf von zwei stun-

Tabelle 21: Verteilung der verschiedenen Assimilationsprodukte in der Tomate, ermittelt durch Verbrennungsanalyse der getrockneten, nicht extrahierten Pflanzen.

$K_1 = 1 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

	0 h				2 h			
	K_1		K_2		K_1		K_2	
	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%
Blätter								
28.7.	$10,74 \cdot 10^7$	71,5	$9,45 \cdot 10^7$	64,5	$7,43 \cdot 10^7$	64,2	$4,03 \cdot 10^7$	56,7
30.7.	$11,89 \cdot 10^7$	66,6	$9,89 \cdot 10^7$	54,0	$8,11 \cdot 10^7$	65,0	$7,50 \cdot 10^7$	58,4
Ø	$11,32 \cdot 10^7$		$9,67 \cdot 10^7$		$7,77 \cdot 10^7$		$5,77 \cdot 10^7$	
Früchte								
28.7.	$6,85 \cdot 10^6$	4,6	$6,96 \cdot 10^6$	4,8	$6,01 \cdot 10^6$	5,2	$9,35 \cdot 10^6$	13,2
30.7.	$4,88 \cdot 10^6$	2,7	$6,40 \cdot 10^6$	3,5	$6,23 \cdot 10^6$	5,0	$4,09 \cdot 10^6$	3,2
Ø	$5,87 \cdot 10^6$		$6,68 \cdot 10^6$		$6,12 \cdot 10^6$		$6,72 \cdot 10^6$	
Stängel								
28.7.	$3,38 \cdot 10^7$	22,5	$4,18 \cdot 10^7$	28,6	$3,32 \cdot 10^7$	28,7	$1,84 \cdot 10^7$	25,9
30.7.	$5,24 \cdot 10^7$	29,3	$7,53 \cdot 10^7$	41,1	$3,25 \cdot 10^7$	26,1	$4,58 \cdot 10^7$	35,7
Ø	$4,31 \cdot 10^7$		$5,86 \cdot 10^7$		$3,29 \cdot 10^7$		$3,21 \cdot 10^7$	
Wurzeln								
28.7.	$2,22 \cdot 10^6$	1,5	$3,14 \cdot 10^6$	2,1	$2,15 \cdot 10^6$	1,9	$2,97 \cdot 10^6$	4,2
30.7.	$2,41 \cdot 10^6$	1,3	$2,39 \cdot 10^6$	1,3	$4,90 \cdot 10^6$	3,9	$3,47 \cdot 10^6$	2,7
Ø	$2,32 \cdot 10^6$		$2,77 \cdot 10^6$		$3,53 \cdot 10^6$		$3,22 \cdot 10^6$	
Σ 28.7.	$15,03 \cdot 10^7$		$14,64 \cdot 10^7$		$11,57 \cdot 10^7$		$7,11 \cdot 10^7$	
Σ 30.7.	$17,86 \cdot 10^7$		$18,30 \cdot 10^7$		$12,47 \cdot 10^7$		$12,84 \cdot 10^7$	
Ø	$16,45 \cdot 10^7$		$16,47 \cdot 10^7$		$12,02 \cdot 10^7$		$9,98 \cdot 10^7$	

den. Hinweise über hohe Markierungsverluste - bis 25% - gibt es auch in der Fachliteratur (WILSON 1969, FISHER 1970b).

b. Versuche mit abgedunkelten Früchten

Verteilung der Markierung im Alkoholextrakt und im unlöslichen Rückstand

Es wurde schon erwähnt, daß die grünen Früchte selbst in der Lage sind, CO_2 zu assimilieren. Um diese Eigenassimilation auszu-schließen und damit die tatsächlich durch den Transport in die Früchte gelangten Substanzen zu erfassen, wurden Versuche durchge-führt, in denen die grünen Tomatenfrüchte vor Versuchsbeginn in der Glovebox mit Aluminiumfolie umwickelt wurden. Die Daten dieser Versuche sind in den Tabellen 22, 23 und 24 zusammengestellt.

Ausgedrückt als Impulse/1 g Frischsubstanz findet man in den Blät-tern bei der Variante K_1 eine etwas höhere Assimilationsrate als bei der Variante K_2 . Die Pflanzenmassen der beiden Varianten waren sehr unterschiedlich: K_2 hatte K_1 gegenüber fast die doppelte Blatt-masse (Tabelle 13, Ernten am 12. und 26. November). Es ist also verständlich, daß die Gesamtassimilationsrate bei den Pflanzen der Variante K_2 deutlich höher lag, als bei der Variante K_1 . Der relative Anteil der markierten Stoffe, sowohl in der löslichen als auch in der unlöslichen Fraktion, war in den Blättern am größten (Tabellen 22 und 23). Die relativen Mengen an markierten Assimila-ten in den Früchten zeigen den Einfluß des K-Ernährungszustandes auf den Stofftransport ganz eindeutig (Tabelle 22). Die Pflanzen der Variante K_1 waren nicht ausreichend mit K^+ versorgt und nur

Tabelle 22: Verteilung der markierten, in 75%igem Äthanol löslichen Assimilate in der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Die Eigenassimilation der Früchte war ausgeschaltet. Mittelwerte von jeweils 3 Pflanzen.
 $K_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	K_1		K_2		
	cpm/1 g FS. cpm/Tot.	%	cpm/1 g FS. cpm/Tot.	%	
Blätter					
12.11.	6,27.10 ⁵	76,2	5,21.10 ⁵	10,96.10 ⁷	57,0
26.11.	4,94.10 ⁵	85,4	3,95.10 ⁵	8,35.10 ⁷	73,8
ø	5,61.10 ⁵		4,58.10 ⁵	9,66.10 ⁷	
Früchte					
12.11.	6730	0,6	1,39.10 ⁵	1,26.10 ⁷	6,5
26.11.	5740	0,8	44500	0,30.10 ⁶	2,7
ø	6240		91800	0,78.10 ⁷	
Stengel					
12.11.	1,23.10 ⁵	22,8	3,08.10 ⁵	6,52.10 ⁷	33,9
26.11.	54200	13,2	1,29.10 ⁵	2,58.10 ⁷	22,8
ø	88600		2,19.10 ⁵	4,55.10 ⁷	
Wurzeln					
12.11.	3640	0,4	24300	4,96.10 ⁶	2,6
26.11.	4000	0,7	4040	0,76.10 ⁶	0,7
ø	3820		14200	2,86.10 ⁶	
Σ 12.11.	7,61.10 ⁵		9,92.10 ⁵	19,24.10 ⁷	
Σ 26.11.	5,58.10 ⁵		5,73.10 ⁵	11,04.10 ⁷	
ø	6,60.10 ⁵		7,83.10 ⁵	15,28.10 ⁷	

Tabelle 23 : Relative Verteilung der markierten, in 75%igem Äthanol löslichen Substanzen in der Tomaten - pflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung. Mittelwerte von jeweils 3 Pflanzen. $K_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung.

	Blätter		Früchte		Stengel		Wurzeln	
	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
12.11.	85%	82%	0,2%	1,7%	14%	16%	0,2%	0,7%
20.11.	80	81	0,1	0,2	19	18	0,3	0,4
Ø	82	82	0,2	1,0	17	17	0,3	0,5

0,6-0,8% der markierten, löslichen Assimilate befanden sich in den beiden ausgeführten Versuchen in den Früchten. Bei der Variante K_2 war die entsprechende Prozentzahl in einem Versuch sogar 6,5. Da die Tomatenfrüchte während der $^{14}\text{CO}_2$ -Behandlung abgedunkelt waren, müssen die markierten Stoffe auf dem Transportweg in die Früchte gelangt sein. Die Zahlen zeigen, daß bei den Pflanzen der Variante K_1 der Assimilattransport behindert war. Schon während der CO_2 -Applikationsdauer (sechs Stunden) haben die Pflanzen der Variante K_2 beachtliche Mengen an Assimilaten in die Früchte transportiert.

Nicht nur die Früchte der gut mit K^+ versorgten Pflanzen wiesen einen höheren Gehalt an markierten Substanzen auf, auch in den Stengeln, die das hauptsächliche Transportorgan darstellen, war ein deutlicher Unterschied zu sehen. Die Tabelle 24 zeigt die gesamte Menge an ^{14}C in den einzelnen Pflanzenorganen und dessen Aufteilung auf die lösliche und unlösliche Fraktion. Es wird deutlich, daß in Blättern, Stengeln und Wurzeln bei der K_2 -Variante beachtlich höhere Mengen an markierten Substanzen vorliegen. Die Erhöhung ist besonders bei den Blättern hauptsächlich auf eine erhöhte Pflanzenmasse zurückzuführen. Für die Früchte gilt das jedoch nicht, denn hier wurde ja, wie bereits beschrieben, der Fruchtbehang bis auf jeweils fünf Früchte pro Pflanze ausgedünnt. Es ist so verständlich, daß in die Früchte der gut mit K^+ versorgten Pflanzen (K_2 -Variante) absolut ein Mehrfaches an markierten Assimilaten eingelagert wurde als in die Früchte der weniger gut mit K^+ versorgten Pflanzen (siehe Tabelle 24), denn ihnen stand ja eine geringere Blattmasse zur Verfügung. Dieser Einfluß der

Tabelle 24 : Gesamtmarkierung der Tomatenpflanzen bei unterschiedlicher K-Ernährung, ausgedrückt als Impulse/Minute/Gesamtmasse ($c_{pm}/Tot.$) und prozentual (Gesamt ^{14}C -Menge = 100%).
Mittelwerte von jeweils 3 Pflanzen der jeweiligen Fraktion.
 $K_1 = 0,4 \text{ mmol } K^+/l$, $K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$ in der Nährlösung.

	12.11.70				26.11.70			
	K_1		K_2		K_1		K_2	
	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%	cpm/Tot.	%
Blätter								
lösli.	$6,86 \cdot 10^7$	42,7	$10,96 \cdot 10^7$	35,8	$5,37 \cdot 10^7$	29,1	$8,35 \cdot 10^7$	31,2
unlösli.	$9,20 \cdot 10^7$	57,3	$19,63 \cdot 10^7$	64,2	$13,08 \cdot 10^7$	70,9	$18,39 \cdot 10^7$	68,8
	$16,06 \cdot 10^7$	100%	$30,59 \cdot 10^7$	100%	$18,45 \cdot 10^7$	100%	$26,74 \cdot 10^7$	100%
Früchte								
lösli.	$0,58 \cdot 10^6$	69,0	$1,26 \cdot 10^7$	75,9	$0,53 \cdot 10^6$	70,5	$3,01 \cdot 10^6$	84,3
unlösli.	$0,26 \cdot 10^6$	31,0	$3,99 \cdot 10^6$	24,1	$0,22 \cdot 10^6$	29,5	$0,56 \cdot 10^6$	15,7
	$0,84 \cdot 10^6$	100%	$1,66 \cdot 10^7$	100%	$0,75 \cdot 10^6$	100%	$3,57 \cdot 10^6$	100%
Stängel								
lösli.	$2,05 \cdot 10^7$	57,6	$6,52 \cdot 10^7$	63,5	$0,83 \cdot 10^7$	20,6	$2,58 \cdot 10^7$	41,4
unlösli.	$1,51 \cdot 10^7$	42,4	$3,75 \cdot 10^7$	36,5	$3,19 \cdot 10^7$	79,4	$3,65 \cdot 10^7$	58,6
	$3,56 \cdot 10^7$	100%	$10,27 \cdot 10^7$	100%	$4,02 \cdot 10^7$	100%	$6,23 \cdot 10^7$	100%
Kurzweln								
lösli.	$0,34 \cdot 10^6$	63,8	$4,96 \cdot 10^6$	72,8	$0,42 \cdot 10^6$	42,1	$0,76 \cdot 10^6$	49,2
unlösli.	$0,19 \cdot 10^6$	36,2	$1,85 \cdot 10^6$	27,2	$0,58 \cdot 10^6$	57,9	$0,79 \cdot 10^6$	50,8
	$0,55 \cdot 10^6$	100%	$6,81 \cdot 10^6$	100%	$1,00 \cdot 10^6$	100%	$1,55 \cdot 10^6$	100%
$\Sigma L.$	$9,00 \cdot 10^7$		$19,24 \cdot 10^7$		$6,29 \cdot 10^7$		$11,31 \cdot 10^7$	
$\Sigma ul.$	$10,76 \cdot 10^7$		$23,97 \cdot 10^7$		$16,35 \cdot 10^7$		$22,18 \cdot 10^7$	
Σ	$19,76 \cdot 10^7$		$43,20 \cdot 10^7$		$22,64 \cdot 10^7$		$33,48 \cdot 10^7$	

Blattmasse ist bei der relativen Ausdrucksweise, wie sie in den Tabellen 22 und 23 vorliegt, eliminiert. Wenn beispielsweise in den beiden Varianten K_1 und K_2 proportional der in der Gesamtmasse je Pflanze assimilierten ^{14}C -Menge markierte Assimilate in die Früchte eingelagert worden wären, dann wäre zwar die absolute Menge an eingelagerten ^{14}C in der Variante K_2 höher, die relative Menge (prozentualer Anteil an der Gesamtassimilation) aber wäre für beide Varianten gleich. Wenn nun auch die relative Menge bei K_2 beträchtlich höher ist (siehe Tabelle 22), dann spricht das für einen besseren Assimilattransport in der K_2 -Variante unabhängig von den absolut assimilierten ^{14}C -Mengen.

Der Tabelle 24 ist weiterhin zu entnehmen, daß in den Blättern etwa 60-70% der markierten Assimilate in unlöslicher Form vorliegen; in den Stengeln und Wurzeln war dieser Anteil geringer. In den Früchten war der Anteil an löslichen markierten Substanzen zwei- bis vierfach höher als der an unlöslichen markierten Substanzen. Die bessere K-Ernährung begünstigte den Anteil an markierten löslichen Assimilaten in den Früchten.

Markierung einzelner organischer Fraktionen

Die wäßrigen Extrakte der beiden letzten Ernten - 12. und 26. November - wurden mittels Ionenaustauschern fraktioniert, wie schon früher beschrieben. Es wurden drei Fraktionen - Aminosäuren, organische Säuren und Zucker - gewonnen, deren Markierung im Flüssigkeitsszintillationszähler gemessen wurde. Die Zählausbeuten betrugen 75-80%. Die Ergebnisse, ausgedrückt als Prozente des gesamten

markierten Materials der löslichen Fraktion (=100%) sind in der Tabelle 25 zusammengefaßt. Die Tabelle zeigt, daß in allen Pflanzenorganen weitaus der größte Teil des ^{14}C in der Zuckerfraktion zu finden ist. Bei der Variante K_2 gehört 90% der in den Früchten vorliegenden ^{14}C -Menge der Zuckerfraktion an, bei K_1 ist dieser Anteil niedriger. In den Blättern zeigt sich eine umgekehrte Tendenz: Der relative Anteil markierter Zucker ist bei der Variante K_1 höher als bei K_2 .

Die Zuckerfraktion wurde anschließend papierchromatographisch untersucht. Die der Blätter und Stengel setzte sich aus Glucose, Fructose und Saccharose zusammen. In den Wurzeln lagen außer den genannten Zuckerarten auch Spuren von höhermolekularen Zuckern vor, die nicht näher untersucht wurden. Die Zuckerfraktion der Früchte bestand aus Glucose und Fructose.

Die durch Ionenaustausch gewonnenen Zuckerlösungen eigneten sich schlecht für die quantitative Zuckeranalyse. Beim Auswerten der Chromatogramme fiel auf, daß die Saccharosegehalte der Proben besonders stark schwankten, was daraufhin deutet, daß eine Hydrolyse von Saccharose während des Ionenaustauschvorganges möglich ist. Deshalb wurden die Zucker auch in den nicht fraktionierten, wäßrigen Extrakten analysiert, denn nach HEHL (mündliche Mitteilung) ergeben bei der vorliegenden Zuckeranalyse Aminosäuren und organische Säuren keine Störungen. Der Chromatographie- sowie der Auswertungsvorgang wurden schon beschrieben. Die Zählausbeute der Messungen war äußerst niedrig und betrug nur 10-20%. Der Gehalt an ^{14}C in den einzelnen Zuckern der Früchte lag so niedrig, daß eine Aussage

Tabelle 25 : Relative Verteilung des ^{14}C in den drei Fraktionen - Zucker, Aminosäuren, organische Säuren, - bei unterschiedlicher K-Ernährung. Gesamt - ^{14}C in Zucker, Aminosäuren und organischen Säuren = 100%. $\text{K}_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+/\text{l}$, $\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung.

	Zucker		Aminosäuren		org. Säuren	
	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
Blätter						
12.11.	83,8%	75,5%	5,4%	6,8%	10,7%	17,6%
26.11.	76,3	75,0	7,7	6,9	16,0	18,2
Ø	80,1	75,2	6,6	6,9	13,4	17,9
Früchte						
12.11.	85,5	90,3	7,0	4,5	7,5	5,1
26.11.	82,1	91,1	6,2	3,5	13,8	5,4
Ø	83,8	90,7	6,6	4,0	10,7	5,3
Stengel						
12.11.	89,1	90,2	5,4	5,4	5,5	4,4
26.11.	88,3	89,9	5,7	5,1	6,0	5,0
Ø	88,7	90,0	5,5	5,2	5,7	4,7
Wurzeln						
12.11.	(34,5)	84,4	(10,0)	6,5	(55,8)	9,1
26.11.	76,0	72,4	8,3	8,7	15,7	18,9
Ø	76,0	78,4	8,3	7,6	15,7	14,0

über die ^{14}C -Verteilung auf die einzelnen Zuckerarten nicht möglich war; gleiches gilt für die Wurzeln. Die Verteilung des ^{14}C auf die verschiedenen Zuckerarten in den Blättern und Stengeln ist in der Tabelle 26 dargestellt. In der Zuckerfraktion der Blätter liegt die Markierung hauptsächlich in den Monosacchariden vor. Den Prozentzahlen den einzelnen Monosacchariden - Glucose und Fructose - sollte man keinen zu großen Wert beimessen. Diese beiden Zuckerarten trennten sich chromatographisch zwar qualitativ gesehen gut, aber bei der quantitativen Bestimmung war es oft schwer, die Flecken genau auseinander zu schneiden, da die R_f -Werte geringe Unterschiede aufwiesen. Eine gute Vergleichsbasis gegenüber der Saccharose ist jedoch die Summe der Monosaccharide.

Die Menge an markierter Saccharose ist bei der Variante K_2 etwas höher als bei K_1 , sowohl in den Blättern als auch in den Stengeln. Vergleicht man die Verteilung des ^{14}C auf die drei Zuckerarten in den Blättern und in den Stengeln, so fällt deutlich auf, daß der relative Anteil des ^{14}C in der Saccharosefraktion der Stengel doppelt so hoch liegt wie in den Blättern. Die Zucker werden in Form von Saccharose von den Blättern über die Stengel in die Reserveorgane transportiert, wo sie teils als Monosaccharide, teils als Polysaccharide (Stärke) eingelagert werden. Aus den Daten der Tabelle 26 läßt sich die Tendenz erkennen, daß bei der Variante K_2 der Anteil an markierter Saccharose höher ist. Dieser Befund deckt sich mit den oben angeführten Ergebnissen, daß nämlich die bessere K-Ernährung den Assimilattransport begünstigt.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Kohlenhydratuntersuchungen sind an extrahiertem Material durchgeführt. Es liegt der Verdacht nahe,

Tabelle 26: Relative Verteilung des ^{14}C in der Zuckerfraktion der Tomatenblätter und -stengel als Prozent des ^{14}C in Glucose, Fructose und Saccharose (Gesamtmarkierung der Zuckerfraktion = 100%).
 $K_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+/\text{l}$, $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung.

	Glucose		Fructose		Saccharose	
	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
Blätter						
12.11.	42%	52%	39%	30%	19%	18%
26.11.	56	55	30	28	14	14
$\bar{x}$	49	53	35	29	17	18
Stengel						
12.11.	24	22	34	24	42	55
26.11.	26	39	34	21	40	40
$\bar{x}$	25	31	34	23	41	47

daß ein Teil der in der Pflanze vorhandenen Saccharose während des Extraktionsvorganges in die beiden Monosaccharide Glucose und Fructose hydrolysiert wurde (HEHL, mündliches Gespräch). Wenn das tatsächlich der Fall wäre, sollte der Anteil an ^{14}C in der Saccharose höher und in den Monosacchariden dementsprechend niedriger sein. Ganz unabhängig davon, ob Saccharose hydrolysiert worden ist oder nicht, zeigen die hier dargestellten Ergebnisse jedoch, daß in den Transportorganen - den Stengeln - der Anteil von markierter Saccharose gegenüber den Blättern höher ist. Die zuerst gebildeten Zucker sind Monosaccharidphosphate. Gerade in den Blättern ist deshalb der Anteil an markierten Monosacchariden hoch. Sie werden zu Saccharose umgebaut und in dieser Form in die Reserveorgane transportiert (KURSANOV 1961).

Es wurde versucht, neben der ^{14}C -Analyse die Chromatogramme auch auf ihren Gesamtgehalt (markiert + unmarkiert) an einzelnen Zuckern zu untersuchen. Hier zeigten sich aber beachtliche Abweichungen, die keine eindeutigen Aussagen erlauben.

IV. DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es festzustellen, welchen Einfluß der K-Ernährungszustand auf den Transport der Assimilate vom Blatt in die Frucht bei der Tomate hat. Der Prozess - Assimilation, Abscheidung der Assimilate in die Transportbahn, Stofftransport - benötigt mehrere enzymatische Reaktionen, die unterschiedlich vom Mineralstoffzustand der Pflanze gesteuert und

aktiviert werden (EVANS und SORGER 1966). Darum sollte man den Mineralstoffhaushalt der Tomatenpflanze bei unterschiedlicher K-Ernährung über die ganze Vegetationszeit kennen. Die Anzucht der Pflanzen in Wasserkulturen ermöglichte die Kontrolle über die Nährstoffzufuhr in die Pflanze.

Das eigentliche Organ für die Aufnahme von Nährionen ist die Wurzel. Sie nimmt anorganische und organische Stoffe in Ionenform, aber auch in ungeladener Form auf. Die eigentlichen Pflanzennährstoffe werden hauptsächlich als Ionen absorbiert: Stickstoff als NO_3^- oder NH_4^+ , Phosphor als HPO_4^{2-} oder H_2PO_4^- , Schwefel als SO_4^{2-} , Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium und Schwermetalle als Metallionen oder Chelatkomplexe. Die über die Wurzeln aufgenommenen Nährstoffe werden teils aktiv, teils passiv in das Xylem transportiert, wo sie mit dem Transpirationsstrom in die einzelnen oberirdischen Pflanzenorgane befördert werden (MENGEL 1972). Dabei bewegen sich die verschiedenen Nährstoffe mit unterschiedlicher Geschwindigkeit.

Das K^+ - und das NO_3^- -Ion werden von den Pflanzenwurzeln im Vergleich zum Wasser bedeutend stärker, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Phosphat und Sulfat in den meisten Fällen dagegen mit einer etwas geringeren Rate als das Wasser aufgenommen. Man unterscheidet zwischen aktiver und passiver Ionenaufnahme. Passive Ionenaufnahme bedeutet einen Ionentransport entlang dem elektrochemischen Gefälle. Im Gegensatz zur passiven Ionenaufnahme benötigt die aktive Aufnahme Energie. Es gibt Hinweise dafür, daß die Zelle den Energiebedarf für die aktive Ionenaufnahme mit ATP oder einer analogen Verbindung deckt. Die meisten Autoren nehmen an, daß der aktive Ionentransport durch biologische Membranen mittels Träger erfolgt (LEGGETT

1968, LATIES 1969, MILTHORPE und MOORBY 1969, MENGEL 1970). Es ist unwahrscheinlich, daß jede Ionenart ihren eigenen Träger hat, vielmehr dürften zahlreiche Ionenarten passiv in die Pflanze gelangen (MENGEL 1972).

Die Transportrichtung im Xylem ist ausschließlich akropetal, der Transportmechanismus beruht auf Massenströmung (WIERSUM 1966, MENGEL 1971). Auf dem Transportweg werden Ionen und Moleküle aus den benachbarten Zellen aufgenommen bzw. an diese abgegeben. Die Zusammensetzung des Xylemsaftes ändert sich damit dauernd (WIERSUM 1966).

Der Xylemsaft enthält anorganische Ionen wie K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Phosphat, Nitrat und Sulfat und in geringeren Mengen Aminosäuren, organische Säuren, teils auch Zucker (ZIEGLER 1963). Zur Zeit der Blüte ist die Konzentration an Nährstoffen im Xylem am größten.

Die Geschwindigkeit des Wasserflusses durch die Pflanze wird von der Transpirationsrate bestimmt. Es gibt Beweise dafür, daß eine der ersten Folgen von Wassermangel ein erniedrigter Transport von Mineralstoffen, Saccharose und anderen Metaboliten ist (MILTHORPE und MOORBY 1969).

Der basipetale Stofftransport verläuft im Phloem. Es gibt eine Anzahl von Ionen, die in basipetaler Richtung schlecht wandern können. Diese Ionen sind wahrscheinlich nicht in der Lage, bis in das Phloem vorzudringen, so daß aus diesem Grunde ihr basipetaler Transport sehr beschränkt ist (BIDDULPH et al. 1958, WITTWER und TEUBNER 1959). Die Alkali-Ionen Rb^+ , K^+ , Na^+ sind gut beweglich, ebenso P, S und Cl^- ; die Erdalkali-Ionen Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} und Mg^{2+}

dagegen sind wenig mobil (BUKOVAC und WITTEW 1957, MENGEL 1972). DENAYER-DE SMET (1967) stellte fest, daß bei Haselnuß (*Corylus avellana*) das K^+ im Herbst aus den Blättern in die mehr verholzten Organe zurückwandert, für Ca^{2+} ist ein derartiger Flux nicht gegeben. Bei Mais (*Zea mays*) können N, P, K^+ und Mg^{2+} von den Blättern in die Kolben verlagert werden, wenn eine Aufnahme durch die Wurzeln verhindert ist; das Ca^{2+} kann nicht verlagert werden (KISSEL und RAGLAND 1967). Bei keimendem Mais werden K^+ und P schneller und in größeren Mengen aus dem Scutellum und Endosperm in Sproß und Wurzel transportiert als Ca^{2+} und Mg^{2+} (KLEIN 1965). Das Ca^{2+} wird im Xylem transportiert. Ein Rücktransport des Ca^{2+} aus den Blättern kann nur unter extremen Bedingungen vorkommen (WIERSUM 1966).

WALL (1940) stellte fest, daß eine unterschiedliche K-Ernährung keinen Einfluß auf die allgemeine Verteilung der Mineralstoffe in der Tomate hatte. Mit zunehmender K-Versorgung stieg die K-Konzentration in der Pflanze an. In den Blättern fand WALL (1940) höhere Ca-, Mg- und P-Gehalte aber niedrigere K-Gehalte als in den Stengeln. Wie den Tabellen 4 und 6 zu entnehmen ist, stimmt das für Ca^{2+} und P mit den eigenen Ergebnissen überein. Tabelle 2 zeigt jedoch höhere K-Gehalte in den Blättern als in den Stengeln, Tabelle 5 dagegen weist in den Stengeln im allgemeinen höhere Mg-Werte als in den Blättern auf. In Übereinstimmung mit den Werten der Tabellen 2-5 stellte WALL (1940) in den Tomatenfrüchten sehr niedrige Mineralstoffgehalte fest. Als einziges Kation wurde K^+ in den Früchten in hohen Konzentrationen gefunden. Der Gehalt an Ca^{2+} und Mg^{2+} war in den älteren Blättern höher als in den jün-

geren, der Anteil an K^+ im allgemeinen in den oberen Blättern und Stengelteilen höher als in den unteren Bereichen (WALL 1940). Die Gehalte an Mg^{2+} und Ca^{2+} nehmen während der Vegetationszeit bei der Tomate zu, die an N und K^+ ab. Der P-Gehalt bleibt weitgehend konstant (WARD 1967).

Den K-Gehalt der Blätter sieht man als Indikator für den K-Ernährungszustand an. K-Werte von 1,55-3,70% K^+ in der Trockensubstanz betrachtet man als optimal (WALL 1940, WILCOX 1969), Werte von 0,75-1,23% K^+ in der Trockensubstanz bedeuten K-Mangel (WALL 1940, WILCOX 1969). JONES (1961) beobachtete bei der Tomate K-Mangelercheinungen, wenn die K-Konzentration der Nährlösung unter 0,5 me K^+ /l lag.

Die hier vorliegende Variante K_1 (Tabelle 2) kann in Übereinstimmung mit diesen Literaturwerten als K-Mangelvariante bezeichnet werden. Die eigenen Untersuchungen zeigen, daß bei unzureichender K-Ernährung der K-Gehalt der Blätter, Stengel und Wurzeln im Verlauf der Vegetationszeit erheblich abnahm, während in den Früchten nur eine verhältnismäßig geringe Änderung zu sehen war. Betrachtet man die relative Verteilung von K^+ in der Pflanze (Abbildungen 1-4; Gesamt- K^+ der Pflanze = 100%), so wird deutlich, daß die Pflanze bevorzugt die Früchte mit K^+ zu versorgen versucht; dieses geschieht auf Kosten anderer Pflanzenorgane, ganz besonders der Wurzeln (Tabelle 2). In Ergänzung zu den Befunden anderer Autoren (WALL 1940, WIERSUM 1966) zeigen damit die eigenen Untersuchungen, daß besonders das K^+ der Wurzeln bei unzureichender K-Ernährung für die Früchte mobilisiert wird. Bei den K-Mangelpflanzen ist, wie Tabelle 2 zeigt, nicht nur der relative Anteil an K^+ in den Früchten am höchsten, sondern hier sind auch die Früchte die Organe, welche die absolut höchsten K-Gehalte aufweisen (im Vergleich zu Blättern, Stengeln und Wurzeln).

Die Untersuchungen von WALL (1940) zeigten ebenfalls, daß der K-Gehalt in den Früchten von K-Mangelpflanzen relativ gesehen höher ist, als bei den ausreichend mit K^+ versorgten Pflanzen. Die Früchte ziehen viel K^+ an sich. Diese Tatsache, zusammen mit der verstärkten K-Zufuhr in die neugebildeten Gewebe, verursacht eine Verdünnung der K-Gehalte in den Blättern, die bei unzureichender K-Versorgung nicht mit der Absorption von K^+ aus der Nährlösung ausgeglichen werden kann. Daraus folgen die bekannten K-Mangelercheinungen in den Blättern (WALL 1940, SMILDE und ROORDA VAN EYSINGA 1968).

Die Tomatenfrucht wird sowohl vom Xylem als auch vom Phloem mit Nährionen und organischen Baustoffen versorgt. WIERSUM (1966) zeigte, daß die junge Frucht Wasser und Nährionen vom Xylem aufnehmen kann. Zur Zeit des schnellen Wachstums sowie bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit ist der Xylemtransport in die Frucht unterbrochen, zu dieser Zeit nimmt sie sowohl das Wasser als auch die Nährstoffe überwiegend über das Phloem auf. Der Phloensaft ist reich an K^+ , aber arm an Ca^{2+} , das bewirkt eine Anreicherung von K^+ in der Frucht (WIERSUM 1966).

Im allgemeinen ist die Summe von K^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} pro Gewichtseinheit bei einer bestimmten Pflanze ziemlich konstant (BROYER und STOUT 1959). KIRKBY und MENGEL (1967) stellten fest, daß die Kationensumme bei der Tomate davon abhängt, in welcher Form der Pflanze Stickstoff angeboten wird. Bei Nitrat-N-Ernährung liegt die Kationensumme in allen Pflanzenorganen am höchsten, bei Ammonium-N-Ernährung am niedrigsten. Die Tabellen 9 und 10 zeigen, daß die Kationensumme der Früchte und Stengel von der Höhe der

K-Ernährung abhängt, bei den Blättern und Wurzeln (Tabellen 8 und 11) bleibt die Summe weitgehend von der K-Ernährung unbeeinflusst. Es darf deshalb angenommen werden, daß in den Früchten und Stengeln ein höherer Gehalt an organischen Anionen, bedingt durch eine bessere K-Versorgung, vorliegt (KIRKBY und MENGEL 1967, MENGEL 1965).

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zeigen, daß ein hohes K-Angebot in der Nährlösung hemmend auf die Aufnahme von anderen Kationen wirken kann. Das wird auch von vielen anderen Autoren berichtet. JOHNSON et al. (1957) zeigten, daß bei erhöhten K-Gaben der K-Gehalt in der Pflanze zunahm, die Gehalte an Mg^{2+} und Na^{+} aber abnahmen. COIC et al. (1966) stellten bei Mais und Tomate fest, daß Mg^{2+} , Ca^{2+} und Na^{+} unterschiedlich stark auf ein Überangebot an K^{+} reagierten.

Tabelle 5 zeigt, daß eine hohe K-Gabe die Mg-Gehalte in den Tomatenblättern, -stengeln und -wurzeln erniedrigte. Die Mg-Gehalte der Früchte wurden dagegen eher positiv als negativ durch die verbesserte K-Zufuhr beeinflusst. Übereinstimmend mit diesem Befund zeigen die Abbildungen 13, 14 und 16 deutlich, daß mit verbesserter K-Ernährung der Mg-Transport zur Frucht begünstigt wird. Einen analogen Befund bei Leinsamen registrierten LINSER und HERWIG (1968). COIC et al. (1966) sowie KABU und TOOP (1970) berichteten, daß der Mg-Gehalt der Tomatenstengel durch steigende K-Konzentration in der Nährlösung abnahm, in den Blättern blieb der Mg-Gehalt von der Höhe der K-Ernährung weitgehend unbeeinflusst. Bei der Berechnung der Mg-Konzentration in den gesamten oberirdischen Pflanzenteilen zeigte sich eine Abnahme des Mg^{2+} mit Erhöhung der K-Zufuhr. Der Einfluß des K^{+} auf die Mg-Aufnahme war wesentlich

ausgeprägter als umgekehrt (SKOGLEY und HAIDER 1969). Laut BROYER und STOUT (1959) kann eine hohe K- und Ca-Versorgung Mg-Mangel verursachen. Bei einem Molverhältnis $K:Mg > 8$ beobachteten sie Mg-Mangel.

Die Wirkung des K/Ca-Verhältnisses ist an den verschiedensten Pflanzen häufig untersucht worden (PETERBURGSKIJ et al. 1968, COIC et al. 1966, WIERSUM 1966, VAN GOOR 1968).

Ein hohes K/Ca-Verhältnis (ca. 3) ist für die Entwicklung und Produktivität der Tomate günstig, ohne dabei die Fruchtqualität zu beeinflussen (PETERBURGSKIJ et al. 1968).

Ein ungünstiges K/Ca-Verhältnis in der Nährlösung kann Pflanzenkrankheiten verursachen. Man hat festgestellt, daß das Auftreten von Blütenendfäule vom K/Ca-Verhältnis abhängig ist. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Krankheit bei der höchsten K-Ernährungsstufe beobachtet. VAN GOOR (1968) zeigte, daß ein niedriges K/Ca-Verhältnis (20:70) ein geringeres Auftreten der Blütenendfäule hervorrief, als ein hohes K/Ca-Verhältnis (70:20). Blütenendfäule trat umso stärker auf, je niedriger der Ca-Gehalt der Früchte war. Mit abnehmendem Ca-Gehalt des Fruchtgewebes nimmt dessen Permeabilität insbesondere für K^+ zu (VAN GOOR 1968).

SPURR (1959), ROORDA VAN EYSINGA (1966) und WIERSUM (1966) stellten ebenfalls fest, daß das Auftreten von Blütenendfäule bei der Tomate mit abnehmendem Ca-Gehalt der Früchte und ansteigendem K/Ca-Verhältnis zunimmt. Ein Ca-Gehalt unter $0,08\% Ca^{2+}$ in der Trockensubstanz verursacht immer Blütenendfäule; wenn der Ca-Wert über $0,12\% Ca^{2+}$ in der Trockensubstanz ansteigt, sind die Früchte ge-

sund (GERALDSON 1957, WIERSUM 1966).

Das Ca^{2+} wird in die Frucht fast nur über das Xylem befördert. Bei hoher Luftfeuchtigkeit und schnellem Wachstum ist die Transpiration der Früchte gehemmt und sie werden ausschließlich vom Phloem versorgt. Unter diesen Bedingungen, bei denen die Ca-Zufuhr in die Früchte unterbrochen ist, kommt Blütenendfäule häufig vor (WIERSUM 1966). Sie kann auch bei hoher Transpiration und unzureichender Wasserversorgung auftreten, sowie bei niedriger Ca- und hoher K-Konzentration der Bodenlösung und bei schnellem Wachstum, das durch hohe N-Gaben verursacht wird (EVANS und TROXLER 1953, WINSOR, DAVIES und LONG 1961).

SKOGLEY und HAIDER (1969) fanden, daß Na^+ die Verlagerung von Ca^{2+} in die Tomatenfrüchte stören kann.

Nach PETERBURGSKIJ et al. (1968) ist das K/Ca-Verhältnis der Tomatenfrüchte normalerweise ziemlich konstant, in den Blättern und Wurzeln können große Unterschiede vorkommen. COIC et al. (1966) sind der Ansicht, der Einfluß einer hohen K-Konzentration auf den Ca-Gehalt in den verschiedenen Pflanzenorganen bei Mais und Tomate sei gering. Bei Gerste und Bohne beeinflusste das K^+ die Ca-Aufnahme ebenfalls kaum (JOHNSON, DAVIS und BENNE 1957).

Bei der Diskussion über Antagonismen werden häufig Verhältniszahlen zitiert, z.B. K/Ca-Verhältnis. Die Interpretation derartiger Verhältnisse ist immer schwierig, da aus ihnen nicht zu entnehmen ist, ob ein Faktor im Minimum oder der andere Faktor im Überschuß vorliegt. Deshalb ist es primär wichtig, diese Frage, Minimum oder Überschuß, zu klären. Die Blütenendfäule ist primär

ein Ca-Mangel, Ca^{2+} kommt also in zu geringer Rate in die Frucht, so daß niedrige Ca-Gehalte in der Frucht vorliegen. Diese niedrigen Ca-Gehalte bedingen zwangsläufig ein hohes K/Ca-Verhältnis. Niedrige Ca-Transportraten in die Frucht können auf die verschiedensten Faktoren zurückgehen, wie schlechte Transpiration, schlechte Wasserversorgung, niedrige Ca-Gehalte der Nährlösung und auch Kationenantagonismen. Wie die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, wird bei einer hohen K-Konzentration in der Nährlösung die Ca-Aufnahme der Pflanze nur geringfügig reduziert (siehe Tabelle 4).

Eine gute K-Versorgung ist jedoch für die Fruchtqualität der Tomate notwendig. Das K^+ sorgt für gleichmäßig gefärbte Früchte (ROORDA VAN EYSINGA 1966, WINSOR, DAVIES und LONG 1961, WINSOR, MESSING und LONG 1965, WINSOR und LONG 1967, WOODS 1964, 1966). Bei einem niedrigen K-Niveau sind die Früchte hellrot gefärbt (WALSH und CLARKE 1945). HOBSON (1963) meinte, daß der Einfluß des K^+ auf die gleichmäßige Ausreife auf der Erhöhung der spezifischen Aktivität von Pektinesterase beruht, die ihrerseits wieder die Wirkung von Galacturonase beeinflusst.

Es wurde bereits erwähnt, daß in der zum Teil sehr heißen Vegetationszeit 1969 das Symptom des "Grünkragen" bei den Tomatenfrüchten häufig auftrat. Davon wurden die K-Mangelpflanzen erheblich stärker befallen, als die gut mit K^+ versorgten Pflanzen. ROORDA VAN EYSINGA (1966), WINSOR (1966) und WOODS (1964, 1966) beobachteten ebenfalls, daß ein Zusammenhang von K-Mangel und "Grünkragen" möglich ist. Durch eine Erhöhung des K/N-Verhältnisses gelang es WINSOR, LONG und DAVIES (1958, zitiert bei WOODS 1966) den Anteil gleichmäßig ausreifender Früchte deutlich zu erhöhen. Auf Böden

mit einem sehr niedrigen K-Niveau konnten WINSOR, MESSING und LONG (1965) das Auftreten von "Grünkragen" mit steigenden Mg-Gaben etwas reduzieren.

Bei hohen Lufttemperaturen beobachteten COOPER et al. (1964), WOODS (1966) und ROORDA VAN EYSINGA (1966) ebenfalls eine Erhöhung der Häufigkeit von "Grünkragen" sowie anderer Reifestörungen. Bei zu hoher Temperatur ist die Aufspaltung von Chlorophyll und damit die Bildung von Lycopin und Carotin blockiert (WOODS 1966). Der relative Anteil gleichmäßiger Früchte wurde nach DAVIES und WINSOR (1958, zitiert bei WOODS 1966) und ROORDA VAN EYSINGA (1966) auch durch Beschattung und gute K-Versorgung erhöht.

Natrium kann das Kalium in der Tomate nicht ersetzen (WOOLLEY 1957). Nach COIC et al. (1966) sollte man deshalb nicht über einen Antagonismus von Na^+ gegenüber K^+ reden.

Es wurde bereits erwähnt, daß im Bezug auf Aufnahme und Transport Na^+ gegenüber K^+ diskriminiert wird. Wie die Tabelle 3 zeigt ist der Na-Gehalt in den Wurzeln am höchsten, in den Früchten am niedrigsten. Die geringen Na-Gehalte im Blatt und Stengel der Tomatenpflanze erklären sich vermutlich nicht nur mit einer niedrigen Na-Aufnahmerate, sondern auch mit einem schlechten Na-Transport aus der Wurzel in die oberirdischen Pflanzenteile. Wie an anderen Pflanzenarten beobachtet wurde, vermag sich das Wurzelgewebe mit Na^+ anzureichern, und erst dann, wenn in ihm eine gewisse Na-Sättigung erreicht ist, wird es vermehrt nach oben transportiert (GREENWAY 1965, WALLACE, ABOU-ZAZAM und MUELLER 1972). Die hier an Gersten- und Tabakpflanzen getroffene Feststellung dürfte

auch für Tomatenpflanzen zutreffen. Die niedrigen Na-Gehalte in der Frucht erklären sich zusätzlich noch damit, daß der Phloemsaft arm an Na^+ ist. Insgesamt bleibt also festzustellen, daß die beiden Alkali-ionen K^+ und Na^+ sich in der Tomatenpflanze recht unterschiedlich verhalten; K^+ wird bevorzugt zur Frucht hin transportiert, für Na^+ trifft das Gegenteil zu.

Zusammenfassend kann also über die Mineralstoffuntersuchung festgestellt werden, daß die Tomatenfrüchte für K^+ einen beachtlichen "Sink" darstellen. Bei unzureichender K-Versorgung wird das K^+ anderer Pflanzenorgane, besonders das der Wurzeln für die Früchte mobilisiert. Diese Mobilisierung vermag jedoch in vielen Fällen den Minderertrag an Früchten infolge unzureichender K-Ernährung nicht zu verhindern (siehe Tabelle 7, Fruchtertrag bei Variante K_1 und K_2).

Mit der Möglichkeit Assimilate radioaktiv zu markieren, sind in den letzten 10-15 Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, bei denen der Assimilationsvorgang verschiedenster Kulturpflanzen untersucht wurde. HATCH und SLACK (1966, 1970), HATCH, SLACK und JOHNSON (1967), KORTSCHAK, HARTT und BURR (1965) zeigten, daß für die photosynthetische Fixierung von CO_2 in den Pflanzen zwei verschiedene Mechanismen existieren, die sich in der Art der primären Photosyntheseprodukte unterscheiden. Bei Pflanzen, die das CO_2 über den Calvin-Zyklus fixieren, wie z.B. die Tomate, wurde in Versuchen mit $^{14}\text{CO}_2$ zuerst Phosphoglycerinsäure markiert (IMAI et al. 1971), während bei Kurztagspflanzen wie Mais (HOFSTRA und NELSON 1969, IMAI et al. 1971) und Zuckerrohr (KORTSCHAK, HARTT und BURR 1965) die ersten markierten Photosyntheseprodukte Malat

und Aspartat waren; sie werden über 3-Phosphoglycerinsäure und Hexosephosphate in Saccharose umgebaut, die den wichtigsten Transportzucker darstellt. Das $^{14}\text{CO}_2$ wurde bei Mais auch im Dunkeln in Malat und Aspartat inkorporiert (über 60%), in den Tomatenblättern wurden über 30% der ^{14}C -Markierung im Alanin gefunden. Eine Temperatursenkung von 26°C auf 8°C änderte das primäre Fixierungsmuster bei Mais nicht, lediglich die Weiterverarbeitung der Primärprodukte in Saccharose wurde dadurch verzögert (HOFSTRA und NELSON 1969).

Eine Aussage über die ersten Photosyntheseprodukte in der vorliegenden Arbeit ist wegen der Versuchsanordnung nicht möglich, da die Tomatenpflanzen bei der Ernte wenigstens sechs Stunden mit $^{14}\text{CO}_2$ in Berührung gewesen waren (eine Unterscheidung zwischen den in einem Pflanzenorgan fixierten und von dort durch Transport verlagerten Stoffen war dadurch ausgeschlossen). Durch Untersuchungen der Stoffgruppen, die mit ^{14}C markiert waren, konnten jedoch die sekundären Photosyntheseprodukte erfaßt werden.

Es wurde generell von verschiedenen Autoren festgestellt, daß Blätter, die ihre maximale Größe erreicht haben, Assimilate ausschließlich exportieren, während junge meristematische Gewebe (junge Blätter, Stengel- und Wurzelspitzen) Assimilate importieren. Die ausgewachsenen Blätter sind also Assimilatquellen ("Source"), die meristematischen Gewebe Einlagerungszentren für Assimilate ("Sink"). Derartige Beobachtungen wurden getroffen von: KÖCHER und LEONARD (1971) bei Bohne (*Phaseolus vulgaris*), KOBLET (1969) bei Weinrebe (*Vitis vinifera*), KHAN und SAGAR (1966, 1967, 1969b) bei der Tomate, KHAN und AKOSU (1971) bei Erdnuß (*Arachis hypogaea*), HOFSTRA und NELSON (1969), CUPINA und SARIĆ (1964, 1967) bei Mais (*Zea mays*),

ZIEMER (1971) bei Kiefer (*Pinus ponderosa*), KRIEDMANN (1970) bei Zitrone (*Citrus limon*), HARTT (1962, 1965, 1969, 1970), HARTT und KORTSCHAK (1964, 1967), HARTT, KORTSCHAK, FORBES und BURR (1963), HATCH, SLACK und JOHNSON (1967) bei Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*), SHEN (1960) bei Reis (*Oryza sativa*), KURSANOV und BROVCHENKO (1961), GEIGER und CATALDO (1969), GEIGER, SAUNDERS und CATALDO (1969) bei Zuckerrübe (*Beta vulgaris*), FISHER (1970a-c) bei Sojabohne (*Glycine max*), JONES, MARTIN und PORTER (1959) bei Tabak (*Nicotiana tabacum*).

Der Export der Assimilate von einem Blatt fängt bei einem bestimmten physiologischen Alter an (LAWTON 1967, KÖCHER und LEONARD 1971), nämlich bei einer Größe von 50-50% der Endgröße des Blattes. Voll ausgewachsene Blätter importieren keine Assimilate (KHAN und SAGAR 1966, 1967, KHAN und AKOSU 1971, KOBLET 1969).

In der vegetativen Phase werden die Photosynthate sowohl in die apikalen Teile der Stengel als auch in die Wurzeln transportiert (KHAN und SAGAR 1966, 1967, 1969, KHAN und AKOSU 1971). Junge noch wachsende Blätter exportieren nur wenig Assimilate (KHAN und AKOSU 1971). Mit dem Fruchtansatz werden die Früchte zum wichtigsten "Sink" für die Assimilationsprodukte. Bei der Tomate ist zunächst die erste Fruchtdolde das wichtigste importierende System. Wenn die Pflanze wächst, werden die neuen Fruchtdolden wichtige "Sinks" (KHAN und SAGAR 1967, 1969b, KHAN und AKOSU 1971). Die Menge an exportierten Assimilaten bei der Tomate und bei der Kartoffel hängt von der Art des "Sinks" ab (KHAN und SAGAR 1969a). HARTT (1965) sowie HARTT und KORTSCHAK (1964) betonen die Bedeutung von einem "Sink" auf den Stofftransport beim Zuckerrohr. Die Wan-

derungsrichtung der Kohlenhydrate ist von der Insertionshöhe des Blattes abhängig; untere Blätter transportieren hauptsächlich basipetal, obere Blätter akropetal. Mit der Blüte setzt ein zunehmender Kohlenhydrattransport zur jungen Frucht ein. Es sind vorerst die in der Nähe der Blüte befindlichen Blätter, die vorwiegend ihre Kohlenhydrate an die Früchte abgeben. Mit zunehmender Ausreife der Früchte transportieren immer mehr Blätter aus den oberen Insertionsbereichen ihre Kohlenhydrate in die darunter befindlichen Früchte (KHAN und SAGAR 1967, KOBLET 1969). Die Kohlenhydrate werden hauptsächlich auf der Seite des Fruchtstandes transportiert, auf welcher die Applikation des $^{14}\text{CO}_2$ auf die Blätter erfolgt (KOBLET 1969, KHAN und AKOSU 1971).

Die erwähnten Beobachtungen stimmen im allgemeinen mit den eigenen Versuchsergebnissen gut überein. In den eigenen Versuchen wurden die Blätter nicht nach dem Alter getrennt, so daß eine Aussage über den Einfluß des Blattalters auf den Transport nicht möglich ist. Weil immer ganze Pflanzen mit $^{14}\text{CO}_2$ in Berührung kamen, ist es aufgrund eigener Ergebnisse nicht möglich zu sagen, welches Blatt die Früchte mit Assimilaten hauptsächlich versorgte. Das war auch nicht die Fragestellung dieser Arbeit, es sollte vielmehr untersucht werden, ob der K-Ernährungszustand den Stofftransport in die Früchte beeinflußt.

Der Einfluß des K^+ auf den Stofftransport wird in dieser eigenen Arbeit klar demonstriert. Die Versuche mit den abgedunkelten Früchten (Tabellen 22, 23 und 24) zeigen, daß die Pflanzen mit der höheren K-Gabe ($\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$) in der Lage sind, mehr

markierte Assimilate in die Früchte und Wurzeln zu transportieren, als die mit der niedrigeren K-Gabe ($K_1 = 0,4 \text{ mmol K}^+ / \text{l}$, Tabelle 23). Würde es sich hier um einen primären Effekt des K^+ auf die Assimilationsrate handeln, hätten die nicht abgedunkelten Früchte, die auch selbst assimilieren konnten, gleich nach beendeter Applikation eine höhere ^{14}C -Menge aufweisen müssen (Tabellen 16, 21). Die in der Tabelle 16 dargestellten Werte basieren auf grünen Früchten, wie der sehr hohe Gehalt an ^{14}C zeigt. Jedoch kann man hier deutlich sehen, daß gleich nach der Applikation der relative Anteil von ^{14}C in den Früchten bei beiden Varianten etwa gleich hoch war. Der Effekt des K^+ auf den Transport wird deutlich, wenn man sich die zwei Stunden später ermittelten Werte ansieht. Bei K_1 ist der relative Anteil des ^{14}C in den Früchten nur geringfügig gestiegen, der Unterschied bei K_2 dagegen ist größer (der relative Anteil an ^{14}C steigt bei K_1 von 31,6% auf 32,2%, bei K_2 von 26,0% auf 40,8%, Tabelle 16). Bei den Wurzeln zeigt sich folgendes Bild: Gleich nach beendeter Applikation hatten die gut mit K^+ versorgten Pflanzen relativ gesehen mehr ^{14}C in den Wurzeln inkorporiert. Der Anteil von ^{14}C in den Wurzeln der niedrigeren K-Stufe stieg im Verlauf der Zeit an, bei der besseren K-Versorgung konnte man eine Abnahme beobachten, weil durch die gute K-Versorgung die Assimilate in den Wurzeln schnell umgebaut und im Xylem wieder in die oberirdischen Pflanzenteile transportiert werden. Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit der Aussage von KHAN und SAGAR (1969b), daß nämlich etwa 60% des drei Stunden nach der Applikation in den Wurzeln vorhandenen ^{14}C während der darauffolgenden Stunde wieder mobilisiert wurden. Ein Teil davon wanderte in die wachsenden

Blätter, einen Teil davon fanden sie im Stengel wieder. ZIEMER (1971) stellte bei Kiefer (*Pinus ponderosa*), KURSANOV und PRISTUPA (1957, zitiert bei KURSANOV 1961) bei Kürbis (*Cucurbita melopepo*) einen ähnlichen Befund fest. Die von den Wurzeln via Xylem transportierten ^{14}C -markierten Produkte waren von einer anderen Art als die ^{14}C -Verbindungen, die von den oberirdischen Pflanzenteilen in die Wurzeln gekommen waren. Die Wurzeln sind also nicht nur ein absorbierendes System, sondern sie sind auch zur Synthese fähig (KURSANOV 1961).

Der Phloemsaft enthält hauptsächlich Zucker (10-25%) und daneben organische N-Verbindungen (ZIMMERMANN 1960). Die Natur der Kohlenhydrate im Phloem muß keineswegs mit den dominierenden Zuckern in den Spendergeweben (z.B. Blatt) oder in Empfängerorganen (z.B. Wurzel) übereinstimmen. Dieses gilt auch, wenn die hauptsächlich Zuckerart außerhalb der Leitbahnen eine andere als Saccharose ist (KURSANOV 1961, ZIEGLER 1971).

Es zeigte sich, daß in allen Pflanzenorganen - unabhängig von dem K-Ernährungszustand - die Zuckerfraktion als Träger des ^{14}C den anderen weit überlegen war (Tabelle 25). Der relative Anteil an der Gesamtmarkierung variierte für die Zuckerfraktion zwischen 75 und 90%, für die Fraktion der Aminosäuren zwischen 3,5 und 8,7% und für die Fraktion der organischen Säuren zwischen 5,0 und 19%. Die einzelnen Säuren - sowohl Aminosäuren als auch organische Säuren - wurden nicht näher untersucht. Die qualitative Analyse der Zuckerfraktion zeigte, daß nur die drei Zuckerarten Glucose, Fructose und Saccharose als Träger für ^{14}C von Interesse waren.

In den Früchten wurden nur die beiden Monosaccharide nachgewiesen, deren Markierung jedoch zu gering war, um mit der verwendeten Methode quantitativ gemessen zu werden. Die Blätter wiesen über die Hälfte der Markierung als Glucose auf, der Anteil an markierter Saccharose betrug 14-19%. In den Stengeln war das Bild jedoch anders: Etwa die Hälfte der Markierung der Zuckerfraktion wurde in der Saccharose lokalisiert, Glucose und Fructose waren zu etwa gleichen Teilen markiert (Tabelle 26).

Saccharose ist die wichtigste Zuckertransportform der höheren Pflanze (ZIMMERMANN 1960, HARTT 1965, 1969, 1970, HARTT und KORTSCHAK 1964, HOFSTRA und NELSON 1969).

Eine quantitative Zuckerbestimmung gab keine eindeutigen Ergebnisse, eine Aussage über die Zuckergehalte der Tomatenpflanzen in diesem Versuch bleibt also aus. Die Fachliteratur gibt jedoch einige Zuckerwerte bei der Tomate an, so daß die vorhandene Größenordnung bekannt ist. SAITO, HATAKEYAMA und ITOH (1963) untersuchten unterschiedlich mit K^+ ernährte Tomatenkeimlinge. Bei einer Erhöhung der K-Konzentration der Nährlösung von 0,5 ppm auf 180 ppm stieg der Gehalt an reduzierenden Zuckern von 0,57% auf 0,63%, der Gehalt an nichtreduzierenden Zuckern von 0,17% auf 0,18% und der Gesamtzuckergehalt von 0,74% auf 0,81% an. Die Werte beziehen sich auf Frischgewicht. Die Zuckerwerte von WALL (1940) sind auf Trockengewicht bezogen. Untere Stengelteile wiesen bei K-Mangel einen Gesamtzuckergehalt von 8-11% auf (reduzierende Zucker 4-7%), untere Blätter 3-9% (2-7%). Die entsprechenden Werte bei guter Nährstoffversorgung waren in den unteren Stengelteilen 3-8% (3-5,5%) und in den unteren Blättern 2-2,5% (1,5-2%). MADSEN (1968) fand in den

Tomatenblättern einen Glucose- und Saccharosegehalt von je etwa 1% in der Trochensubstanz.

FREEMAN (1967) fand keine vom K-Ernährungszustand abhängigen Unterschiede in der Markierung von organischen Säuren. Das gleiche Bild zeigen auch die eigenen Ergebnisse (Tabelle 25). Der Umbau der Assimilate in unlösliche Formen geht rasch vor sich. Aus der Tabelle 24 ist zu entnehmen, daß sechs Stunden nach Versuchsanfang 57-71% der in den Blättern vorhandenen Aktivität sich in unlöslicher Form befand, in den übrigen Pflanzenteilen war dieser Anteil im allgemeinen geringer. Die Ergebnisse von FISHER (1970a) bei Sojabohne, GEIGER und CATALDO (1969), GEIGER, SAUNDERS und CATALDO (1969) an Zuckerrüben und JONES, MARTIN und PORTER (1959) bei Tabak zeigten die gleiche Tendenz. Vier Tage (96 Stunden) nach einer ^{14}C -Behandlung fanden HARTT et al. (1963) noch 2% der Gesamtmarkierung im behandelten Blatt. In Tabakblättern war nach der gleichen Zeit noch 32% der Gesamtaktivität zu finden (JONES, MARTIN und PORTER 1959). KHAN und SAGAR (1969b) zeigten, daß 17% der Assimilate von den Tomatenblättern sofort exportiert wurden, 39% wurden vorübergehend fixiert, aber vor dem Absterben des Blattes exportiert, dann waren 44% der markierten Stoffe noch vorhanden.

Die in den Blättern als unlöslich gefundenen markierten Substanzen dienen vorwiegend dem Systemwachstum (LINSER, LACH und TITZE 1968, LINSER und TITZE-BETTNER 1971). Es dürfte sich hier hauptsächlich um die Bausubstanz neuer Zellen, also um Proteine, Nukleinsäuren, Zellmembran- und Zellwandmaterial handeln.

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zeigen, daß der K-

Ernährungszustand wenig Einfluß auf die Photosyntheserate hatte, wenn man die in den Blättern inkorporierte ^{14}C -Mengen pro Gewichtseinheit betrachtet. Das zeigt auch, daß in allen verwendeten K-Ernährungsvarianten für die Photosynthese genügend K^+ vorhanden war. Es kam sogar vor, daß die niedrigere K-Stufe höhere Impulszahlen pro Gramm Frischsubstanz aufwies (Tabellen 15, 21, 22). Wegen des oft erheblich größeren Frischgewichts der gut mit K^+ versorgten Pflanzen war die Assimilationsleistung pro Pflanze jedoch bei den gut mit K^+ versorgten Pflanzen höher.

Erst dann wenn die K-Gehalte der Blätter niedrigere Werte erreichen, wird auch die Photosyntheserate deutlich vom K-Ernährungszustand beeinflusst (PEASLEE und MOSS 1966, ČUPINA und SARIĆ 1967, NOGUCHI und SUGAWARA 1966). Das gilt besonders für K-Mangelpflanzen. So wurde bei K-Mangel von Maisblättern bei Belichtung weniger CO_2 inkorporiert als in den ausreichend mit K^+ ernährten Blättern (JONES 1966). Bei einer relativ hohen Kationenaufnahme steigt der Gehalt an organischen Anionen in Gerstenwurzeln an. Eine verhältnismäßig hohe Kationenaufnahme wirkt günstig für die CO_2 -Assimilation (HIATT und HENDRICKS 1967).

Ein starker physiologischer "Sink", wie z.B. schnell wachsende Kartoffelknollen, erhöht die Assimilationsrate (MOORBY 1970).

Man müßte die kritische Konzentration eines jeden Nährstoffes bestimmen können, die gerade eben noch nicht für ein maximales Wachstum ausreicht, indem man eine einzige Pflanzenzelle oder ein einziges Gewebe oder auch eine spezifische physiologische

Reaktion beobachtet (ULRICH 1952). Die kritische K-Konzentration für Mais war 1,5-2 mg K^+ /g Frischsubstanz, oder umgerechnet 1,1-1,5% K^+ in der Trockensubstanz. Messungen von Photosyntheseraten reflektieren den momentanen Zustand des Blattes und die damit verbundenen Nährstoffkonzentrationen. Korrelationen von Photosyntheseraten mit Nährstoffkonzentrationen im Blattgewebe könnten eine Methode zur Bestimmung der kritischen Nährstoffkonzentrationen sein (PEASLEE und MOSS 1966).

Wie bereits erwähnt, wurde durch die unterschiedliche K-Ernährung die Assimilationsrate, bezogen auf Gramm Frischgewicht, bei den vorliegenden Untersuchungen nicht wesentlich beeinflusst. Der bessere Transport markierter Assimilate bei reichlicher K-Versorgung kann also nicht auf eine erhöhte Assimilation zurückgeführt werden. Dieses Ergebnis besagt, daß der Assimilattransport auf die K-Ernährung empfindlicher reagiert, als die Assimilation selbst. HARTT (1969, 1970) stellte bei Zuckerrohr das gleiche fest.

Dieser verbesserte Assimilattransport hat für die Ertragsbildung eine Bedeutung, denn es wurde festgestellt, daß die Pflanzen der Variante K_2 im allgemeinen kräftiger waren als die der Variante K_1 (Tabelle 13; vergl. Tabelle 7 mit den intakten Pflanzen und drei K-Varianten). Weiterhin muß betont werden, daß in keiner der hier beschriebenen Varianten der CO_2 -Assimilationsversuche an den Pflanzen K-Mangelsymptome beobachtet wurden. Die Pflanzen waren also mäßig bis reichlich mit K^+ versorgt (Tabelle 12) und dementsprechend sind sekundäre Auswirkungen, die durch sicht-

baren K-Mangel auf den Assimilattransport ausgeübt werden können, auszuschließen. Gerade in diesen Punkten unterscheiden sich die vorliegenden Versuche von denen der meisten anderen Autoren.

So schrieben z.B. FREEMAN und MOSSADEGHI (1967), daß in den grünen Blättern von Kohl (*Brassica oleracea*) mit steigendem K-Gehalt der Gehalt an Stärke, Saccharose und reduzierenden Zuckern zunimmt. Die Untersuchungen von JONES (1966) zeigten ebenfalls, daß unzureichend mit K^+ ernährte Tomatenblätter weniger $^{14}CO_2$ zur Stärke assimilieren als ausreichend mit K^+ versorgte Blätter. FARIAN-GALAN (1971) untersuchte die Auswirkung von K- und P-Mangel auf den Stofftransport bei der Sonnenblume, AMIR und REINHOLD (1971) den Einfluß von K-Mangel bei der Bohne. Es zeigte sich in beiden Versuchen, daß der Stofftransport durch die erwähnten Mängel behindert wurde: ^{14}C -markierte Substanzen häuften sich in den behandelten Mangelblättern an, die Kontrollpflanzen transportierten mehr ^{14}C -Saccharose in die unbehandelten Pflanzenteile.

Die hier zitierten Arbeiten bezogen sich alle auf regelrechte Mangelpflanzen, die Bedingungen unterschieden sich dadurch von den eigenen Versuchen. Auch die Untersuchungen von HARTT (1969, 1970), die mit Zuckerrohrpflanzen durchgeführt wurden, wiesen in der unzureichend mit K^+ versorgten Variante oft sehr niedrige K-Gehalte auf.

Die von HARTT (1969, 1970) an einer anderen Pflanze und mit einer anderen Versuchstechnik gefundenen Resultate stimmen jedoch mit den eigenen Resultaten überein, nämlich mit der Aussage, daß der

Assimilattransport vom K-Ernährungszustand stärker beeinflußt wird als die Assimilation selbst. Nach HARTT (1969, 1970) behinderte die unzureichende K-Ernährung den basipetalen Stofftransport bei Zuckerrohr nicht vollständig, er wurde dadurch lediglich langsamer und zwar bei K-Konzentrationen, die keine sichtbaren Mangelsymptome erzeugten. Die Ergebnisse von ASHLEY und GOODSON (1972) an Baumwolle zeigten ebenfalls, daß eine hohe K-Gabe den Stofftransport begünstigt. Die Transportrate war in ihren Versuchen schon bei mäßiger K-Gabe deutlich erniedrigt. Die basipetale Translokation nahm bei einem K-Ernährungszustand ab, der keinen Effekt auf die Photosynthese hatte. Je schwerer der K-Mangel, umso deutlicher wurde der Stofftransport verzögert (HARTT 1969, 1970, ASHLEY und GOODSON 1972). Eine erhöhte Atmungsrate trat gleichzeitig mit der Erniedrigung der Transportrate auf (HARTT 1969).

Die eigenen Ergebnisse können keine direkte Antwort auf die Frage geben, auf welcher Art das K^+ den Stofftransport beeinflußt. In der Literatur werden einige Mechanismen besprochen, die hier in Frage kommen könnten:

1. Durch erhöhte K-Konzentration steht der Pflanze vermehrt ATP zur Verfügung, welches den Aufbau, Umbau der Stoffe und die Abscheidung fördert (KURSANOV und BROVCHENKO 1961).
2. Das K^+ kann dadurch wirksam werden, daß es den Bau der Leitbündel beeinflußt (PISSAREK und FINK 1971).
3. Das K^+ baut in der Siebzelle Potentiale auf (BOWLING 1969).
4. Das K^+ tritt als balancierendes Kation von organischen Anionen auf, die nach DIJKSHOORN (1969) die wichtigste zu

transportierende organische Stoffgruppe darstellen sollen.

Aufgrund der eigenen Ergebnisse kann der Hypothese von DIJKSHOORN, wonach die organischen Stoffe hauptsächlich als Karboxylate transportiert werden, für den Stofftransport keine allzu große Bedeutung beigemessen werden. Aus der Tabelle 25 ist zu entnehmen, daß die organischen Säuren in den Stengeln, also in den wichtigsten Transportorganen, nur 4,4-6% der gesamten markierten, löslichen Stoffe ausmachen, in den Blättern dagegen immerhin 10-18%. Zahlreiche Autoren (SWANSON und EL-SHISHINY 1958, KOBLET 1969, VERNON und ARONOFF 1952, GAGE und ARONOFF 1960, SHIROYA et al. 1961, HARTT 1962, 1965, 1969, 1970, HARTT et al. 1963, KÖCHER und LEONARD 1971) sind der Ansicht, daß die Saccharose und nicht die organischen Säuren bzw. die Karboxylate die wichtigste Transportformen für organische Stoffe in der höheren Pflanze darstellt. Das entspricht auch den eigenen Versuchsergebnissen, die aufzeigen, daß gerade in den Stengeln ein hoher Anteil der ^{14}C -Markierung in Form von Saccharose vorliegt (Tabelle 26). Die Annahme also, daß das im Phloemsaft so reichlich vorhandene K^+ den Assimilattransport dadurch begünstigt, in dem es die organischen Anionen elektrochemisch ausbalanciert, ist ziemlich unwahrscheinlich.

Nach PISSAREK und FINK (1971) nimmt der Leitbündeldurchmesser (Tracheendurchmesser) bei Mais mit steigender K-Versorgung zu. Das K^+ könnte demnach durch den Einfluß auf den verbesserten Bau der Leitbündel den Stofftransport fördern. In der vorliegenden Arbeit wurde der Aufbau der Leitbündel nicht untersucht, aber es scheint unwahrscheinlich, daß bei den vorhandenen mäßigen oder

reichlichen K-Gehalten in den Pflanzen gravierende Unterschiede im Aufbau der Siebelemente vorkommen könnten. In dieser Untersuchung wird vorwiegend der Phloem- und nicht der Xylemtransport behandelt. Es ist aber noch eine offene Frage, ob die Ausbildung von Siebröhren in ähnlicher Weise durch K^+ positiv beeinflusst wird wie die Leitbündel des Xylems. Bei unzureichend mit K^+ versorgten Zuckerrohrpflanzen konnte HARTT (1929, 1934) eine Nekrose des Phloems beobachten, die den Transport vermindern könnte.

PEEL und WEATHERLEY (1959) sowie BOWLING (1968) zeigten, daß der Siebröhrensaft reich an K^+ ist, bei *Salix viminalis* lagen nach ihrer Mitteilung K-Konzentrationen bis 2% (Gewicht/Volumen; ca. 500 mmol) vor.

BOWLING (1969) schlägt als Mechanismus für den Stofftransport in den Siebröhren Elektroosmose vor. Die Voraussetzungen dafür sind:

- a. Ein Potentialgradient, der sich von einer Seite zur anderen Seite der Siebplatte zieht;
- b. Abscheidung von K^+ in eine Siebröhre auf der einen Seite der Siebplatte und Ausscheidung von K^+ auf der anderen Seite;
- c. Die Potentialunterschiede durch jede Siebplatte in einer Siebröhre müssen in der gleichen Richtung polarisiert sein.

BOWLING (1969) zeigte, daß diese Bedingungen bei *Vitis vinifera* erfüllt sind.

Die eigenen Ergebnisse erlauben keine Aussage über diese Hypothese. Die Möglichkeit, daß Elektroosmose im Stofftransport eine Rolle spielt, kann nicht ausgeschlossen werden, jedoch weiß man bis jetzt darüber zu wenig.

Die Abscheidung von Saccharose in die Siebröhren benötigt metabolische Energie (KURSANOV 1963, 1967). Die Anreicherung eines Blattes mit ATP erhöhte den Export von Saccharose aus diesem Blatt (MILTHORPE und MOORBY 1969). Es gibt indirekte Beweise dafür, daß die Abscheidung von Saccharose in das Phloem durch Phosphorylierung und chemische Transformationen vor sich geht, durch Atmungsinhibitoren beeinflusst wird und gegen einen Konzentrationsgradienten abläuft (BIELESKI 1966a,b, HARTT 1965, KURSANOV 1963, 1967).

Untersuchungen über die Zusammensetzung des Siebröhrensaftes zeigten, daß er bis zu 2% ATP enthält. Bei *Tuberolachnus salignus* fanden GARDNER und PEEL (1959) im Siebröhrensaft ATP-Konzentrationen von 0,643-1,031 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Innerhalb des Phloems ist also zweifellos Energie vorhanden, um die Zuckerabscheidung in die Gefäße zu ermöglichen, ohne daß diese Energie, wie es die Massenflußtheorie verlangt, von anderen Zellen im Blatt und in der Wurzel geliefert werden muß (PEEL 1970).

Untersuchungen an isolierten Chloroplasten zeigten, daß Saccharose in den Chloroplasten produziert wird und schnell in das Cytoplasma übergeht. Organellreiche kleinere Adern in dem behandelten Blatt akkumulieren Assimilate (GEIGER und CATALDO 1969, MENGEL 1971). Die Bewegung der Assimilate vom Mesophyll in die Leitzellen und die Weiterbewegung zu den Wurzeln der Zuckerrübe konnte durch Anreicherung der Blätter mit ATP beschleunigt werden (KURSANOV 1961). Darum vermuten KURSANOV und BROVCHENKO (1961), daß die Zucker vor dem Transfer vom Mesophyll in das Phloem phosphoryliert werden; im Phloem werden sie wieder schnell in Saccharose umgebaut.

HARTT (1970) fand, daß das K^+ die Translokation bei solchen Lichtintensitäten beeinflusste, bei denen keine Unterschiede in der Assimilation von +- und --K-Pflanzen festzustellen waren, sowie bei

Intensitäten, bei denen keine Nettofixierung von CO_2 stattfand. K-Mangel beeinflusste die Translokation auch in völliger Dunkelheit, Translokation im Licht war gegenüber K-Mangel jedoch empfindlicher. Darauf basiert ihre Vermutung, daß der Primäreffekt von K^+ auf den Stofftransport ein Effekt auf die "Phototranslokation" sein könnte. PLAUT und REINHOLD (1969) vermuteten, daß Licht den Eintritt der Assimilate in die Leitbündeln fördert, möglicherweise über eine verstärkte ATP-Bereitstellung. AMIR und REINHOLD (1971) meinten, daß das K^+ eine Rolle beim Transport im Licht ausübt, in dem es die Höhe des "Translocation-Pools" beeinflusst, weil es einen Einfluß auf den Übergang von photosynthetischen Zuckern aus den Chloroplasten in den "Pool" ausübt. Das Licht könnte den Transfer von neugebildeter Saccharose in den "Pool" durch einen von der ATP-Zufuhr abhängigen regulativen Einfluß auf Zellmembranen fördern.

Nach der Meinung von HARTT und Mitarbeiter beruht der Einfluß von Licht auf den Stofftransport auf einen erhöhten Bedarf an Photosyntheseprodukten (HARTT, KORTSCHAK und BURR 1964), auf Anwesenheit oder Abwesenheit eines "Sinks" und auf mögliche Änderungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Zytoplasmas (HARTT und KORTSCHAK 1964). Der basipetale Transport in Zuckerrohrblättern war im Licht besser als in Dunkelheit. Das Licht kann zwei Aspekte des Stofftransports beeinflussen, die Polarität oder Richtung des Transports und den relativen Anteil basipetalen Transports (HARTT 1965).

Es ist bekannt, daß der K-Ernährungszustand der Pflanze die Atmung beeinflusst. AMBERGER (1953), PIRSON (1955), BROYER und STOUT (1959), ARNON (1966) und HARTT (1969) konnten zeigen, daß die Atmungsrate bei K-Mangel erhöht ist. Dieser Effekt beruht auf dem Einfluß des

K^+ auf die Atmungsenzyme, deren Aktivität bei optimaler K-Versorgung erniedrigt wird (ARNON 1966). AMBERGER (1953) fand, daß die Atmungsenzyme sowohl bei sehr niedriger wie auch bei extrem hoher K-Konzentration gleich aktiv sind, es scheint also für die Atmung eine optimale K-Konzentration zu geben. KURSANOV und VYSKREBENTZEVA (1966) konnten feststellen, daß bei unzureichender K-Ernährung die Mitochondrien degenerieren, so daß der P/O-Quotient erniedrigt wird. Das bedeutet, daß bezogen auf den Sauerstoffverbrauch weniger ATP oxydativ synthetisiert wird. PFLÜGER und MENGEL (1972) zeigten, daß die photosynthetische ATP-Syntheserate für die unzureichend mit K^+ versorgten Pflanzen um ca. 30% niedriger lag als die der Kontrollen. LEONARD und GLENN (1968) berichteten, daß Sauerstoffmangel sowohl die Abscheidung von Assimilaten in die Adern als auch den Transport in den Petiolen stark reduzierte. Es könnte also zu einer unzureichenden Energieversorgung kommen, falls für die oxydative Phosphorylierung, Photophosphorylierung, Atmung oder Adeninsynthese nicht genügend K^+ zur Verfügung steht (EVANS und SORGER 1966). Gleichzeitige Erniedrigung der Photosynthese- und Erhöhung der Atmungsrate bei K-Mangel können zu einer potentiellen Abnahme der Kohlenhydratreserven der Pflanze führen. Dieses kann zum Teil dadurch kompensiert werden, daß das vegetative Wachstum reduziert wird und dadurch weniger Kohlenhydrate für das Wachstum verbraucht werden (RICHARDS 1956, ARNON 1966).

Die eigenen Versuchsergebnisse, sowie die Ergebnisse von HAEDER und MENGEL (1972) weisen eine Abnahme der ^{14}C -Markierung mit der Zeit in der alkohollöslichen Fraktion (Tabellen 14-18), sowie in der Gesamtmarkierung der Pflanze (Tabelle 21) auf. Der Einfluß des K^+

auf die Erniedrigung der Markierung ist hier nicht eindeutig. Man könnte evtl. daraus schließen, daß bei der höheren K-Stufe der Umbau in unlösliche Formen schneller verläuft, aber der Einfluß des K^+ auf die durch Atmung verlorene Radioaktivität ist nicht eindeutig. Wenn die K-Ernährung mäßig ist, kann nicht angenommen werden, daß durch einen vermehrten Abbau von Kohlenhydraten sekundär der Assimilattransport der Pflanze negativ beeinflusst wird. ATP stimuliert und DNP verhindert den basipetalen Transport. Das weist auf einen energiebedürftigen Prozess im Phloem hin. Der bessere ATP-Vorrat der gut mit K^+ versorgten Pflanzen könnte die aktive Abscheidung von organischen Substanzen in die Siebelemente begünstigen und dadurch zu höheren Transportraten führen (BIDDULPH 1969).

Die verschiedenen oben zitierten Autoren weisen darauf hin, daß Belichtung und auch Atmung den Transport im Phloem stimulieren. Belichtung und Atmung aber bedeuten photosynthetische bzw. oxydative ATP-Synthese. Beide Prozesse werden vom K-Ernährungszustand der Pflanze beeinflusst (PFLÜGER und MENGEL 1972, LATZKO und CLAUS 1958). Der in dieser Abhandlung erarbeitete Befund, daß der Transport von Assimilaten aus den Blättern zu den Früchten durch K^+ begünstigt wird, erklärt sich demnach am ehesten mit dem Einfluß des K^+ auf die photosynthetische und auf die oxydative Phosphorylierung. Ob die hohen Gehalte an K^+ und auch an ATP, die sich im Phloemsaft befinden, einen ursächlichen Zusammenhang aufweisen, sei dahingestellt. Es ist jedoch interessant, daß von allen Kationen nur das Kalium in höheren Konzentrationen im Phloemsaft auftritt. Es muß also für K^+ ähnlich wie für Saccharose ein spezifischer

Abscheidungsmechanismus (Transport aus den benachbarten Zellen in die Siebzellen) angenommen werden. In dieser Hinsicht unterscheidet sich Kalium von dem ihm verwandten Natrium erheblich. Hierin liegt auch begründet, weshalb die Tomatenfrucht zwar hohe K- aber niedrige Na-Gehalte aufweist (siehe Tabellen 2 und 3). Gleiches gilt für andere wasserhaltige Früchte (Obst, Weintraube), die ebenfalls hohe K- aber niedrige Na-Gehalte haben. Die beachtlichen K-Mengen in den genannten Früchten sind also physiologisch bedingt, das heißt, sie gehen auf die K-Konzentration im Phloemsaft zurück, welche sehr wahrscheinlich direkt oder indirekt auch den Assimilattransport begünstigt.

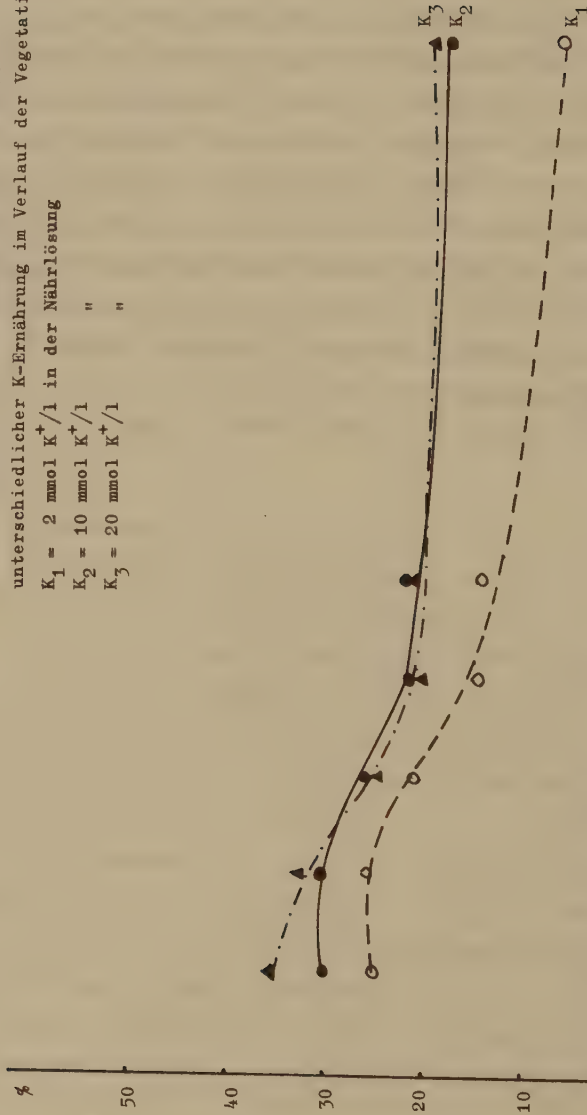
Abbildung 1.

Der Anteil an K^+ in den Tomatenblättern als Prozent des Gesamt-K-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol } K^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol } K^+/l$ "



10.11. 1969
Erntezeit

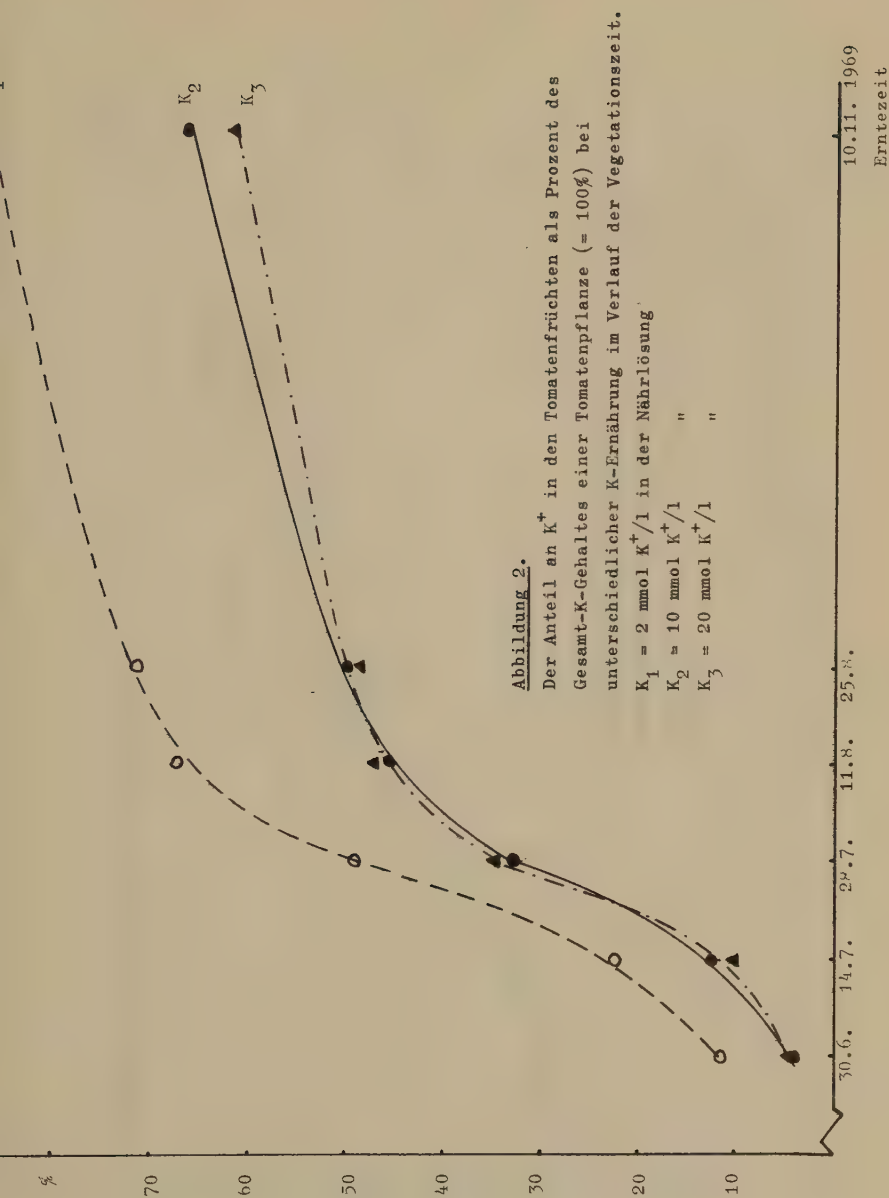


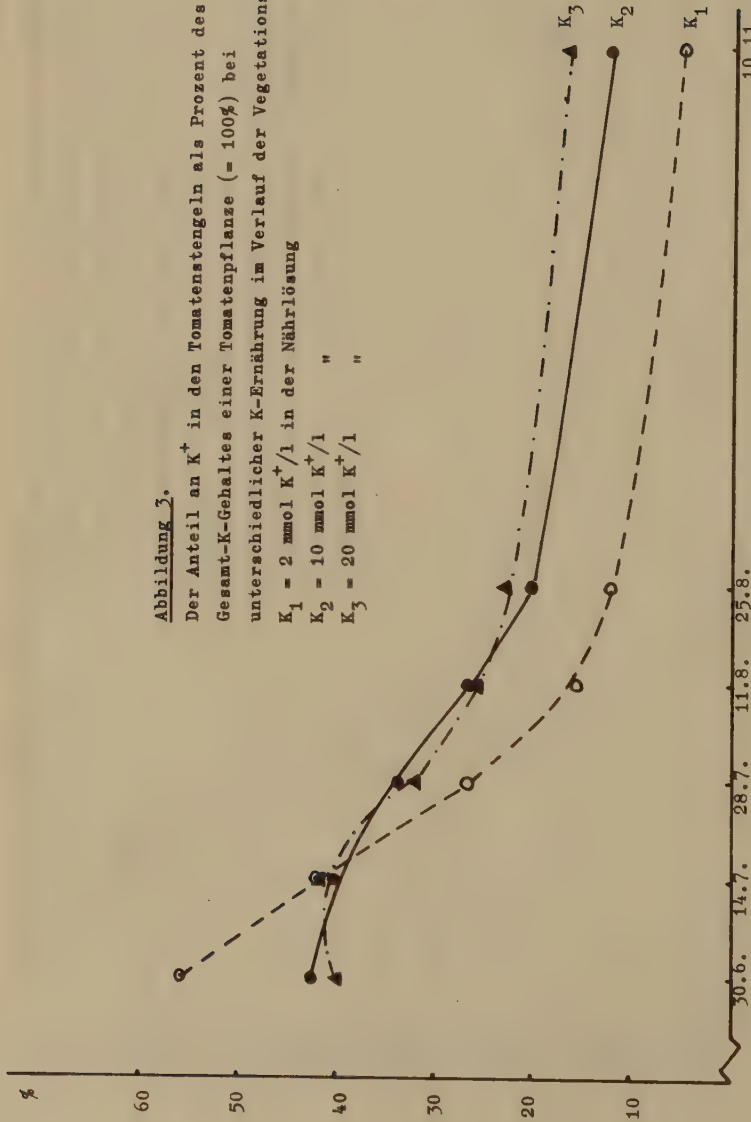
Abbildung 3.

Der Anteil an K^+ in den Tomatenstengeln als Prozent des
Gesamt-K-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol } K^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol } K^+/l$ "



Erntezeit

Abbildung 4.

Der Anteil an K^+ in den Tomatenwurzeln als Prozent des
Gesamt-K-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol } K^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol } K^+/l$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol } K^+/l$ "

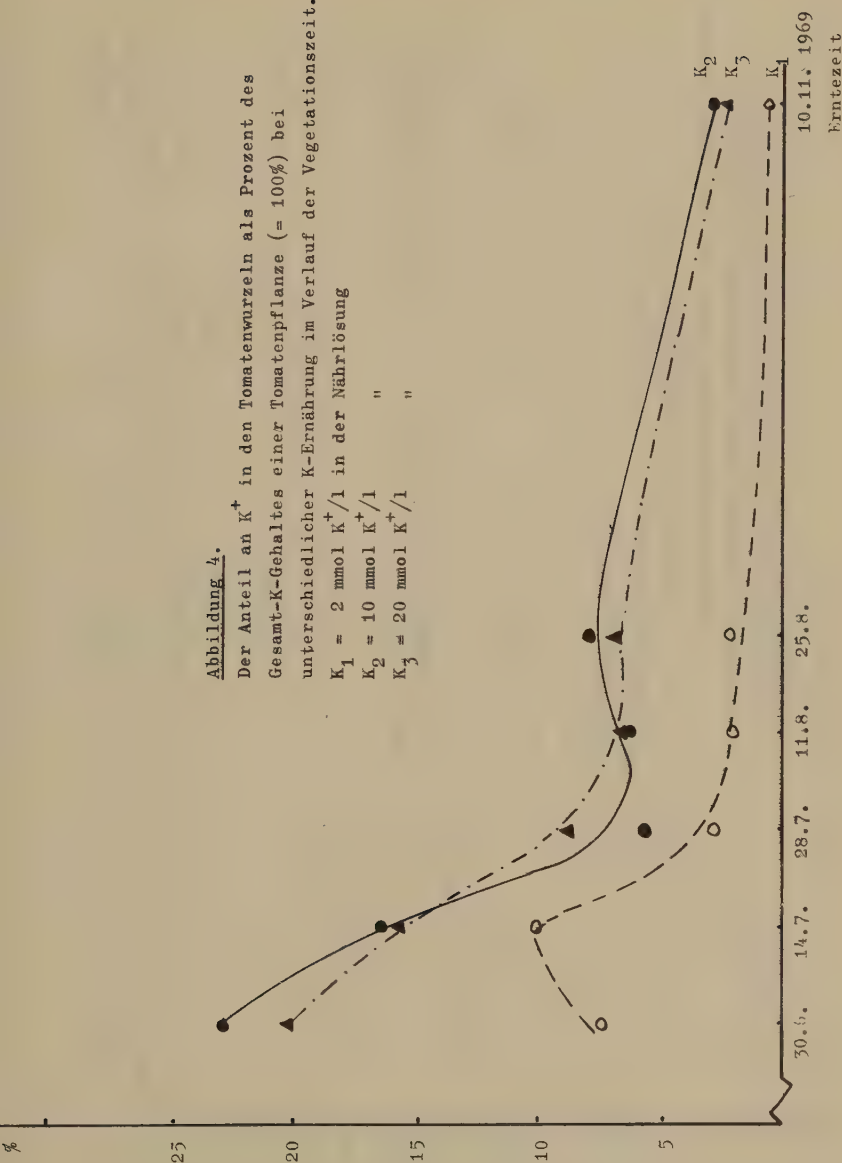


Abbildung 5.

Der Anteil an Na^+ in den Tomatenblättern als Prozent des
Gesamt-Na-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung
 $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "
 $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

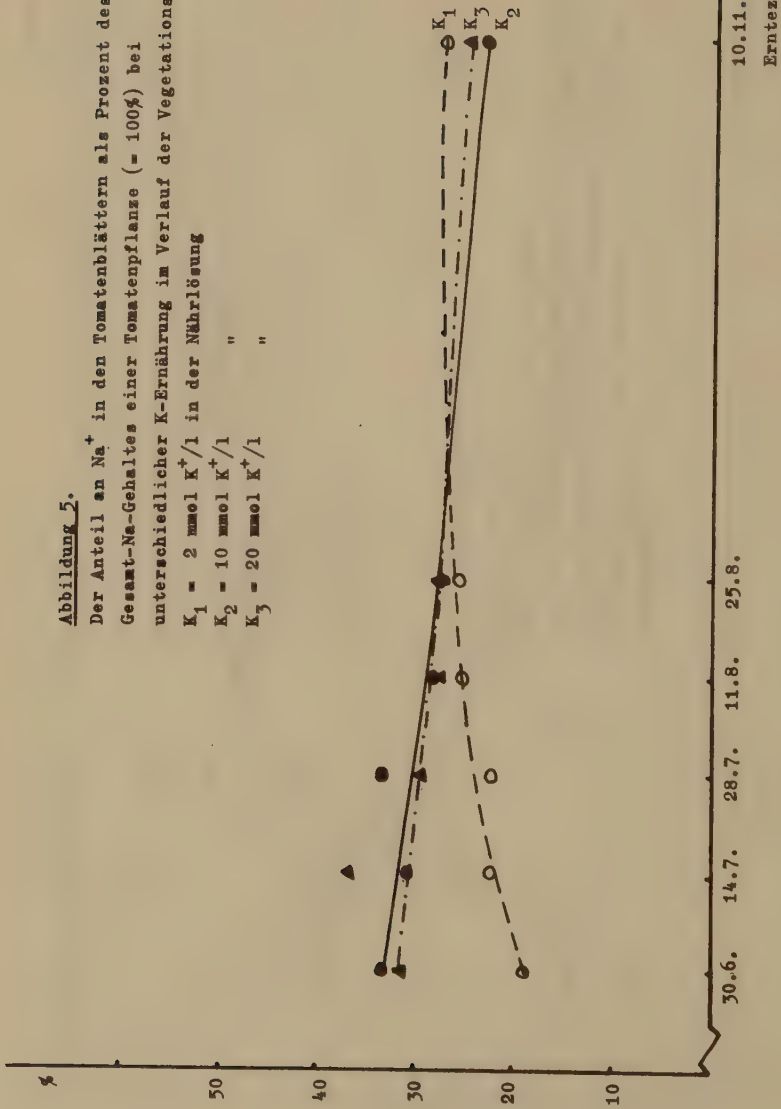


Abbildung 6.

Der Anteil an Na^+ in den Tomatenfrüchten als Prozent des Gesamt-Na-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

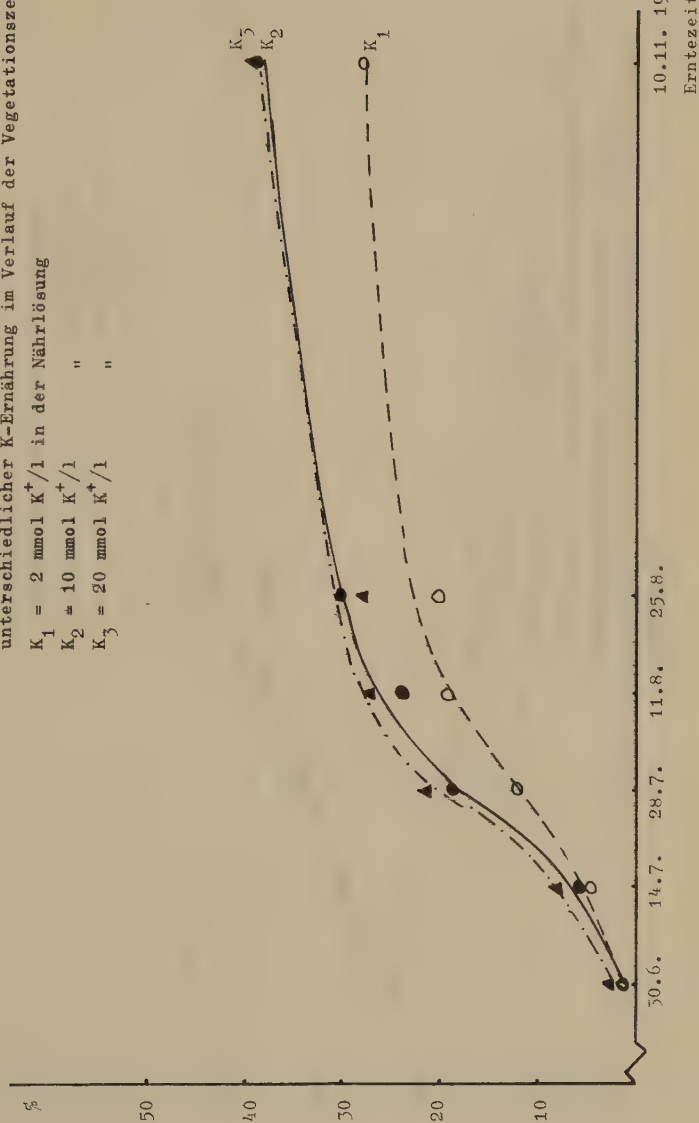
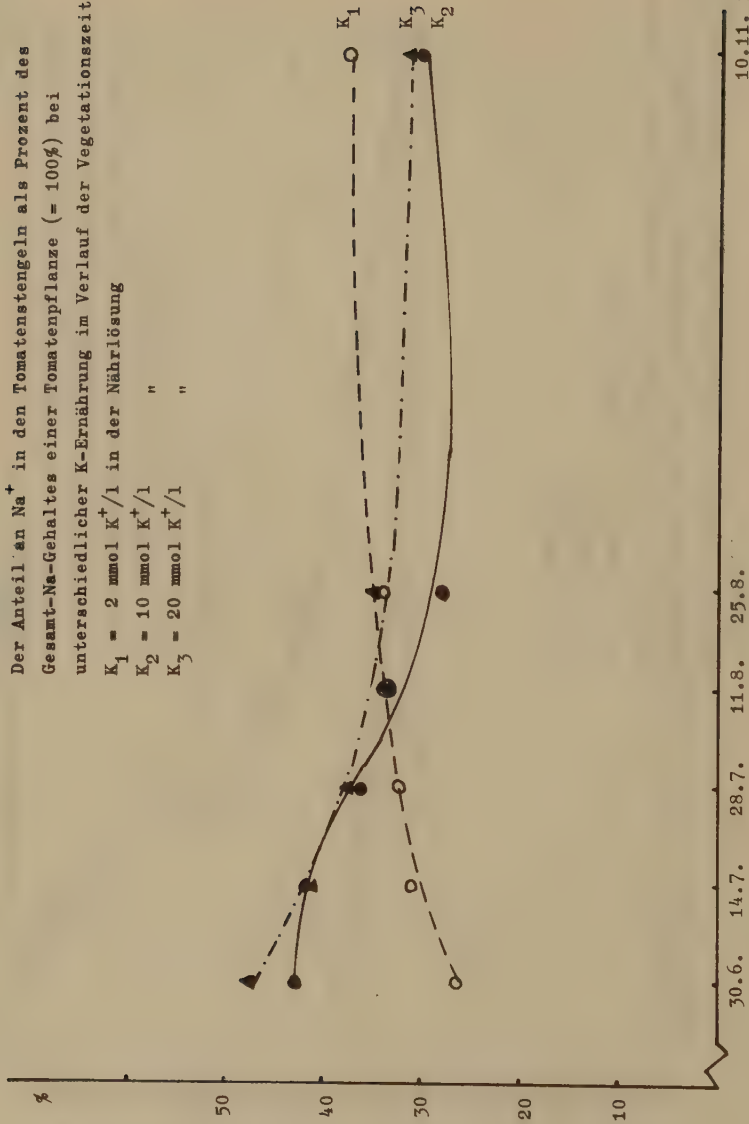


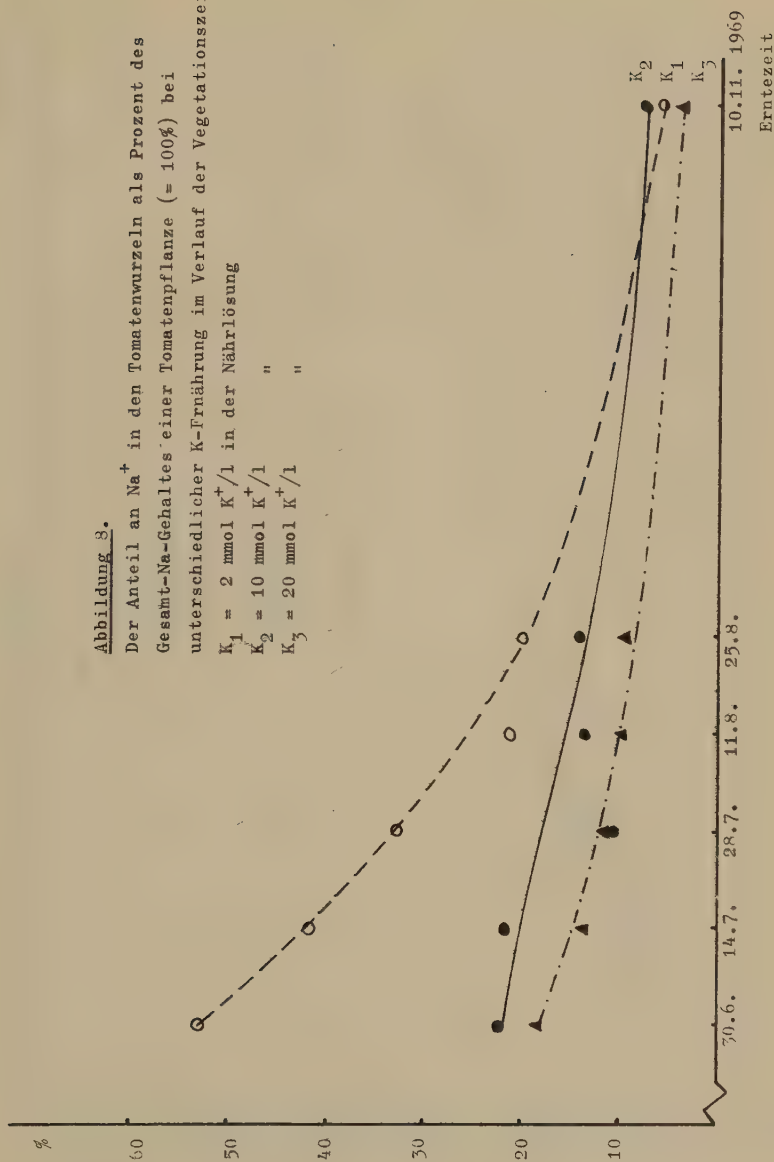
Abbildung 7.
Der Anteil an Na^+ in den Tomatenstengeln als Prozent des
Gesamt-Na-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung
 $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "
 $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "



Erntezeit

Abbildung 3.

Der Anteil an Na^+ in den Tomatenwurzeln als Prozent des Gesamt-Na-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung
 $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "
 $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "



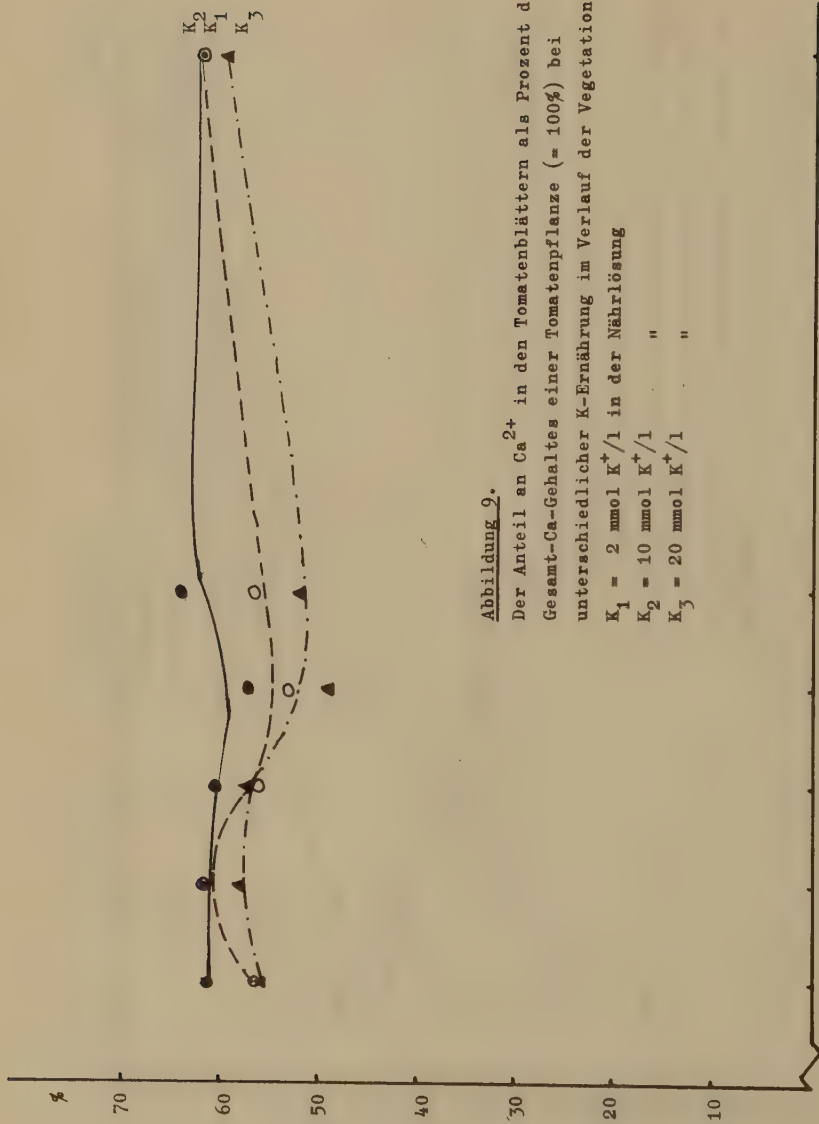


Abbildung 9.

Der Anteil an Ca^{2+} in den Tomatenblättern als Prozent des Gesamt-Ca-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$\text{K}_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$\text{K}_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

30.6. 14.7. 28.7. 11.8. 25.8.

10.11. 1969

Erntezeit

Abbildung 10.

Der Anteil an Ca^{2+} in den Tomatenfrüchten als Prozent des Gesamt-Ca-Gehaltes einer Tomatenpflanze (=100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

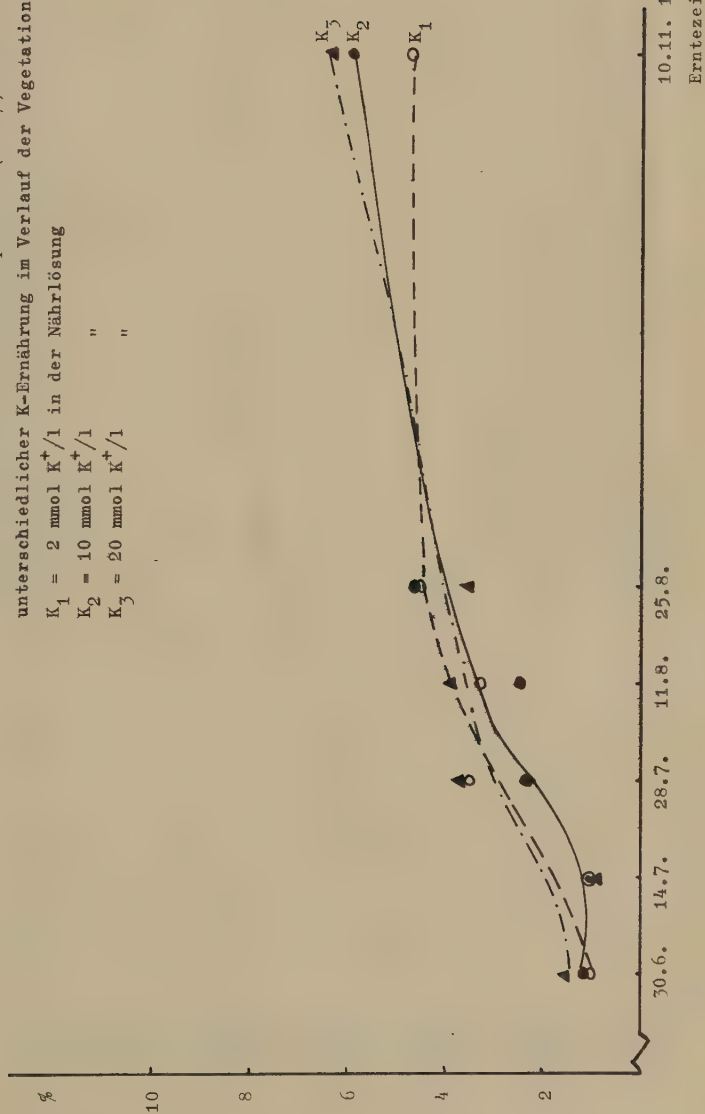


Abbildung 11.

Der Anteil an Ca^{2+} in den Tomatenstengeln als Prozent des Gesamt-Ca-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

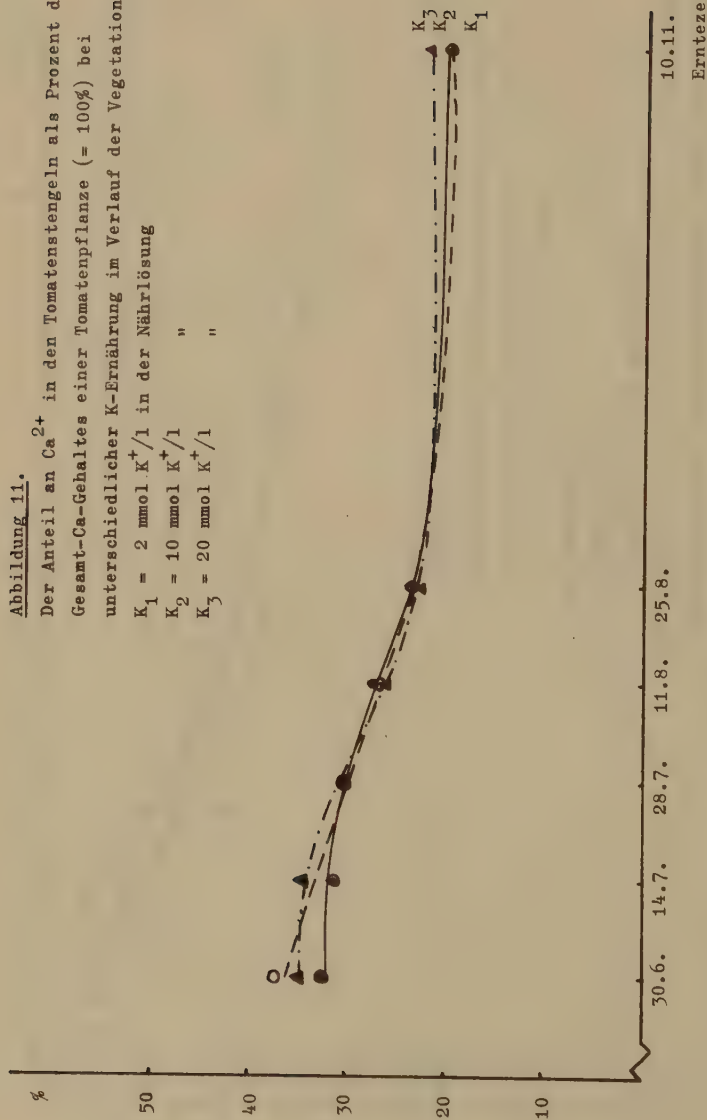


Abbildung 12.

Der Anteil an Ca^{2+} in den Tomatenwurzeln als Prozent des Gesamt-Ca-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$\text{K}_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$\text{K}_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$\text{K}_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

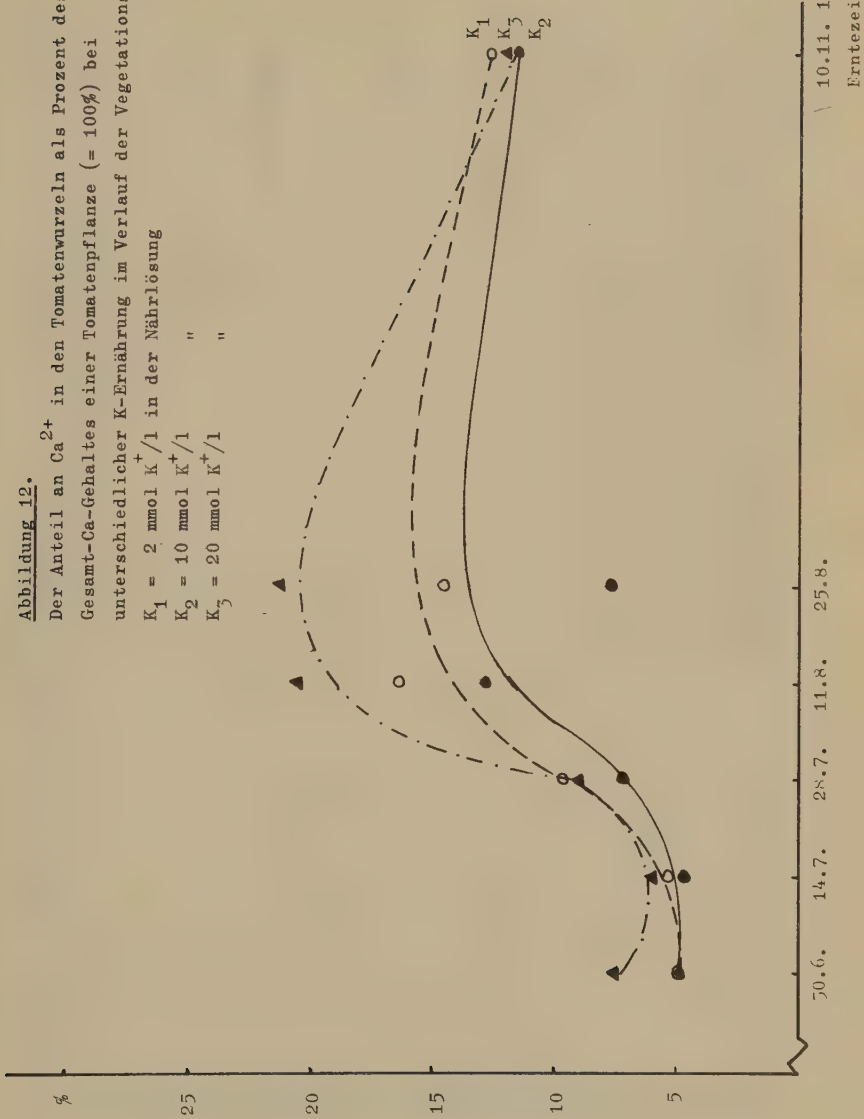


Abbildung 13.

Der Anteil an Mg^{2+} in den Tomatenblättern als Prozent des Gesamt-Mg-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

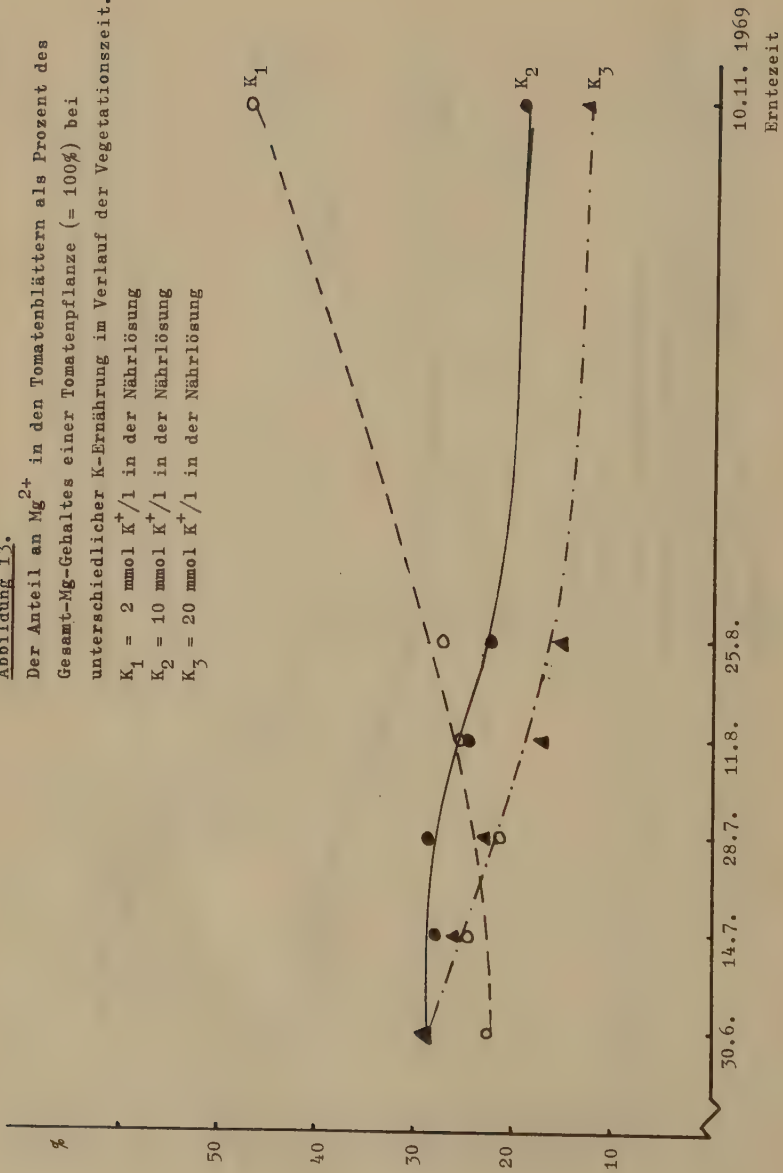


Abbildung 14.

Der Anteil an Mg^{2+} in den Tomatenfrüchten als Prozent des
Gesamt-Mg-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.
 $K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung
" " "
 $K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ " "
 $K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ " "

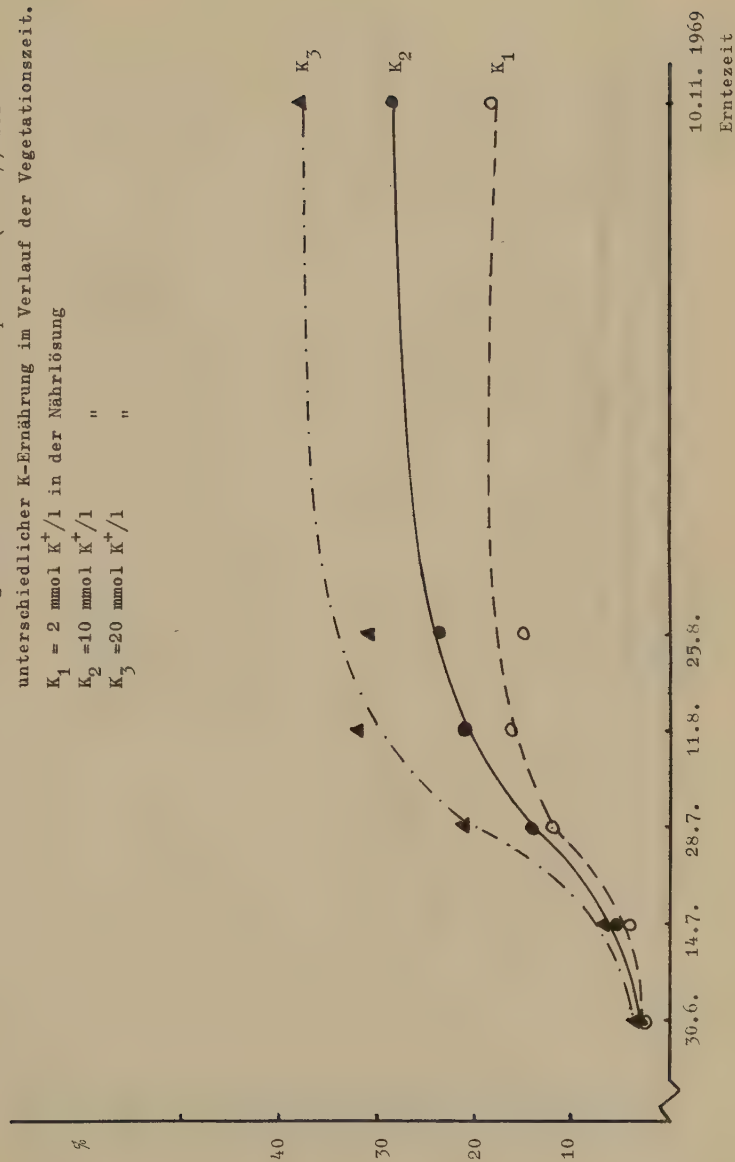


Abbildung 15.

Der Anteil an Mg^{2+} in den Tomatenstengeln als Prozent des Gesamt-Mg-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

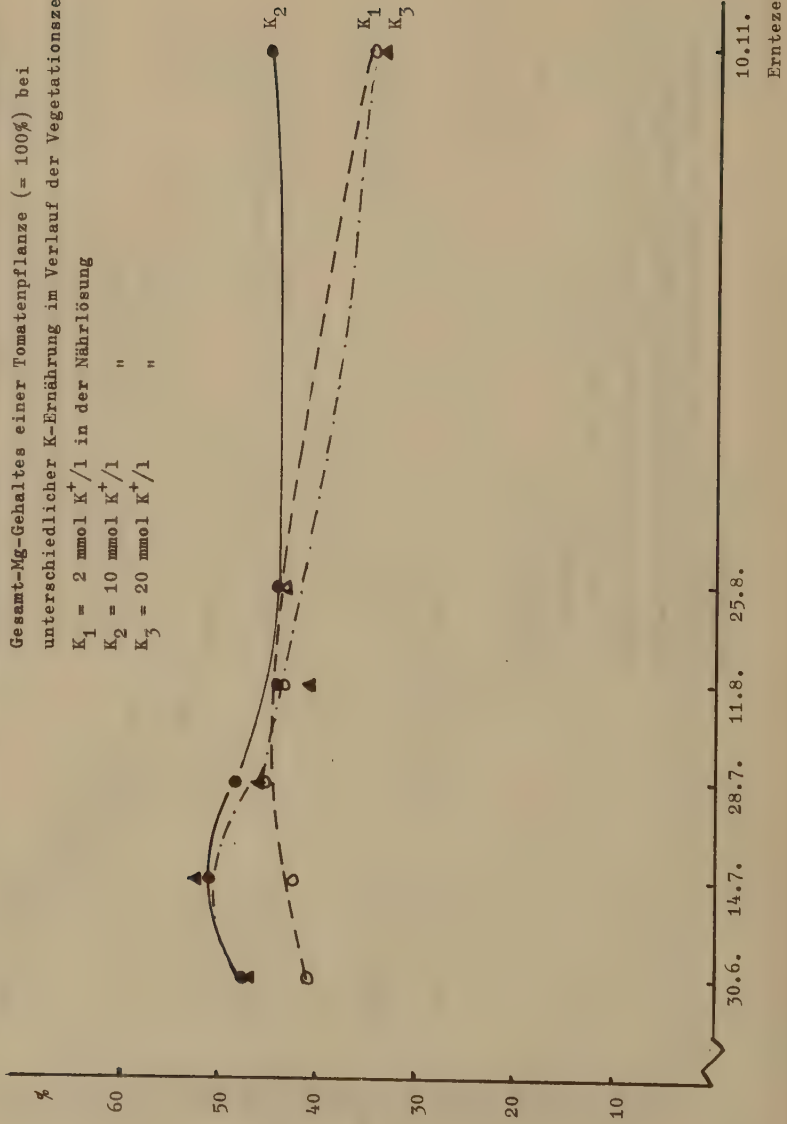


Abbildung 16.

Der Anteil an Mg^{2+} in den Tomatenwurzeln als Prozent des Gesamt-Mg-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ "

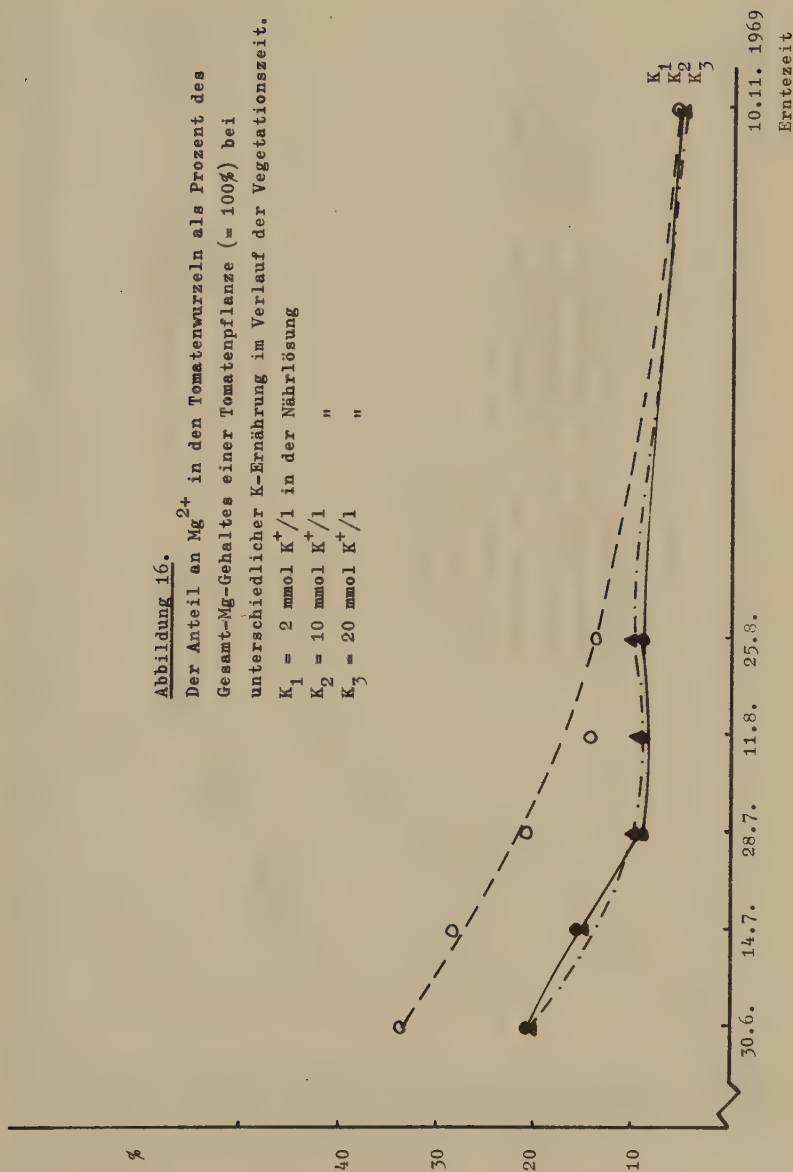


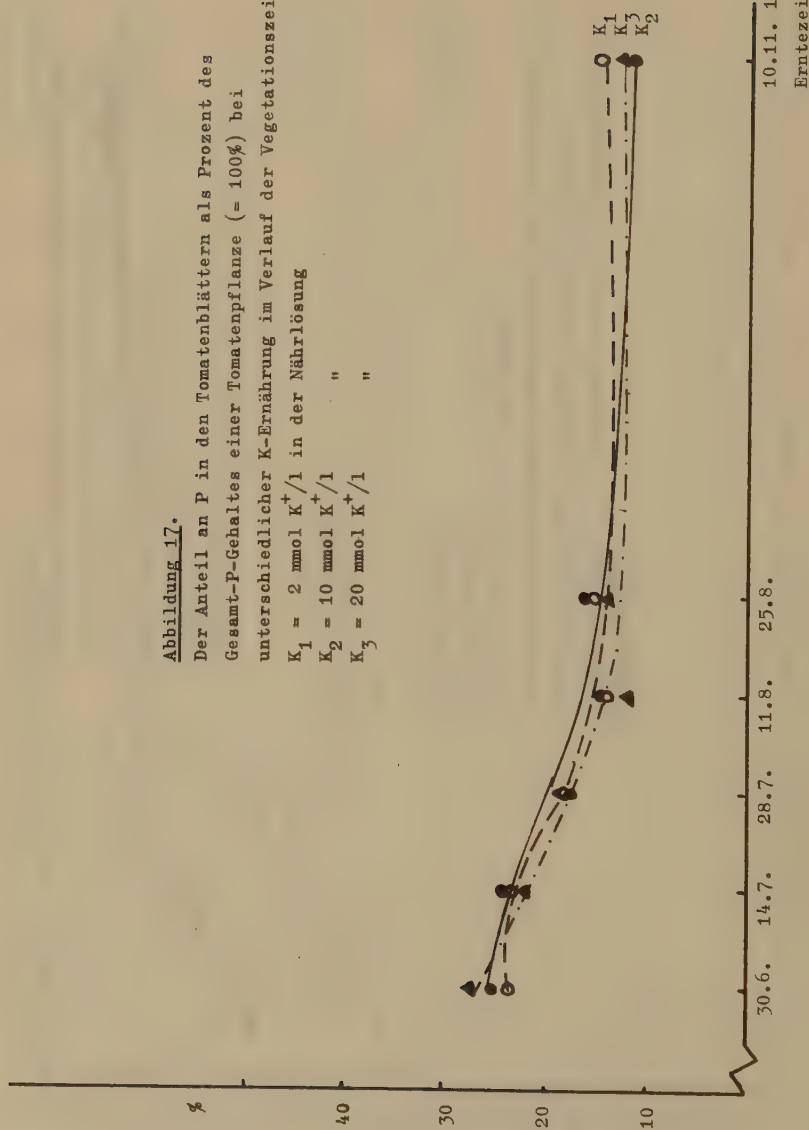
Abbildung 17.

Der Anteil an P in den Tomatenblättern als Prozent des
Gesamt-P-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei
unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/l$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/l$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/l$ "



Erntezeit

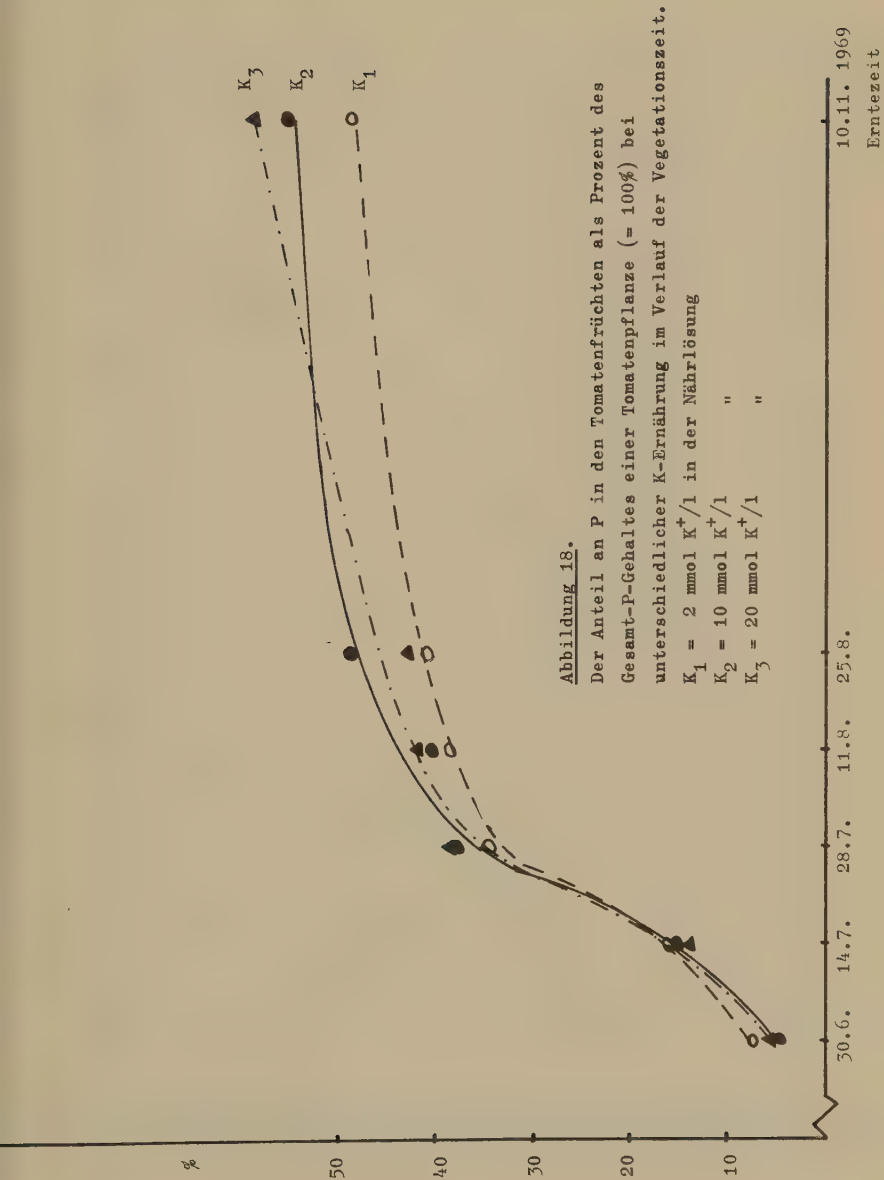


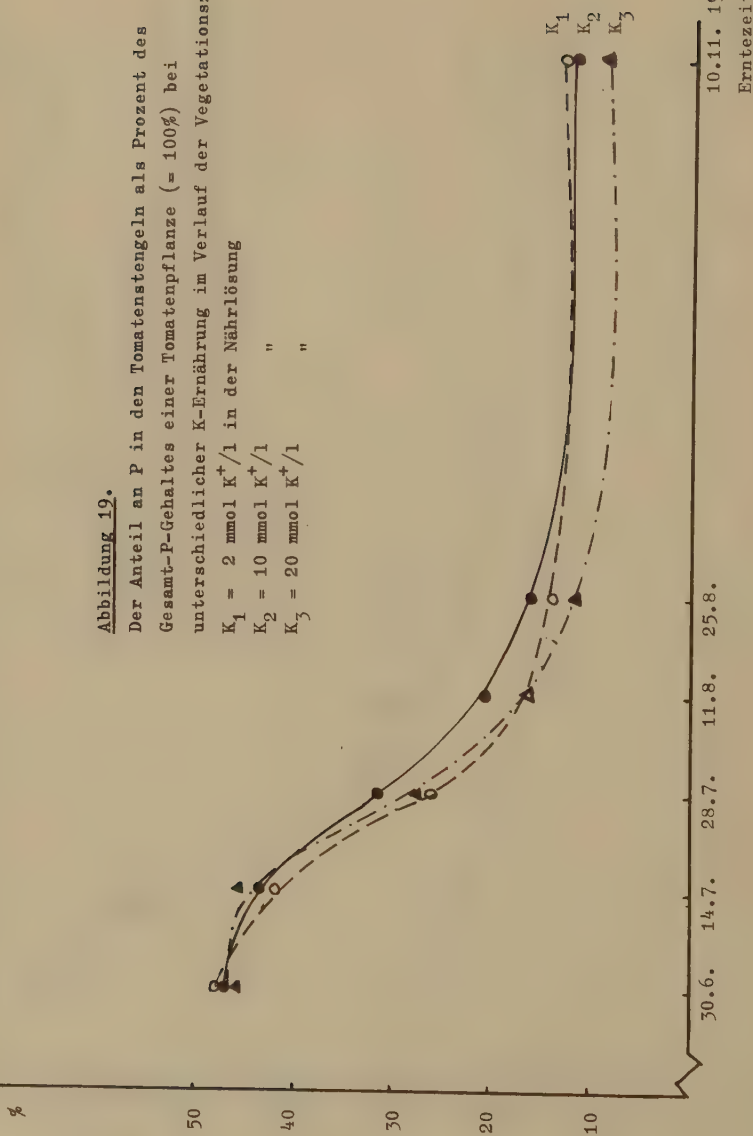
Abbildung 19.

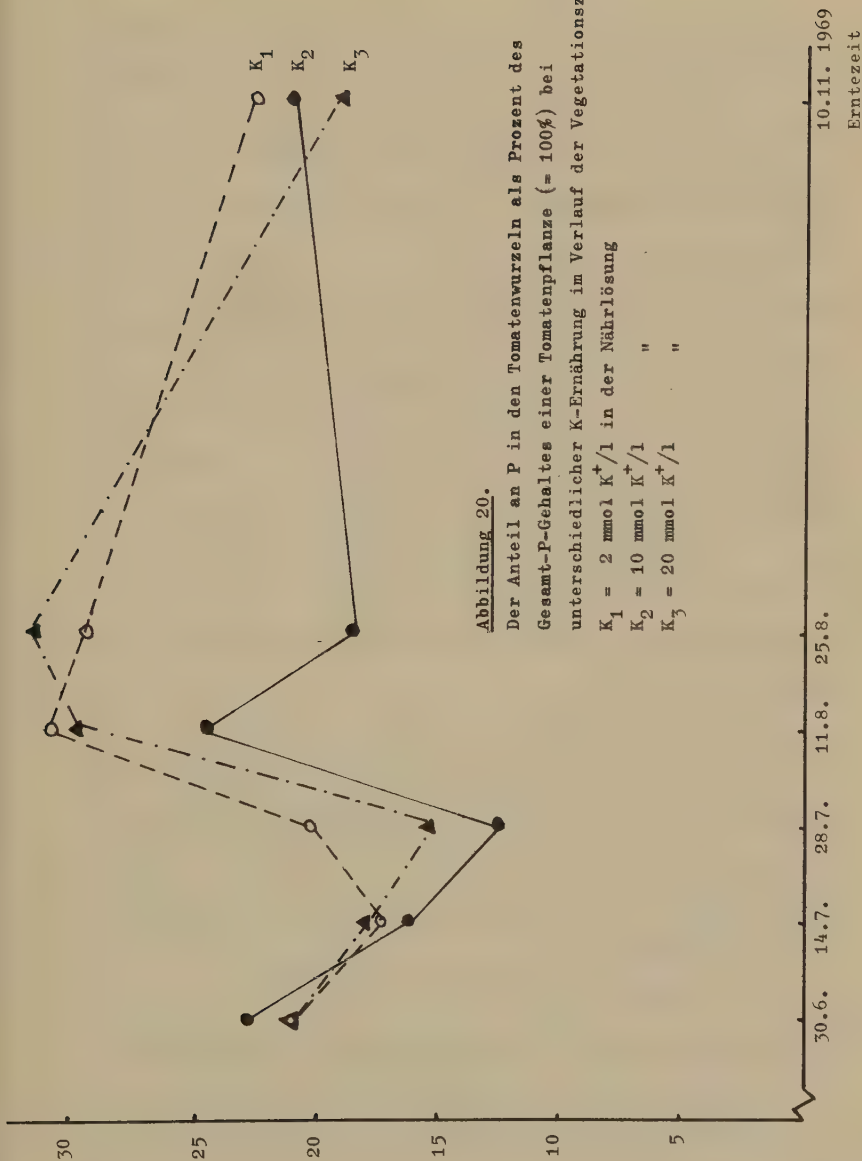
Der Anteil an P in den Tomatenstengeln als Prozent des Gesamt-P-Gehaltes einer Tomatenpflanze (= 100%) bei unterschiedlicher K-Ernährung im Verlauf der Vegetationszeit.

$K_1 = 2 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ in der Nährlösung

$K_2 = 10 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "

$K_3 = 20 \text{ mmol K}^+/\text{l}$ "





V. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde der Einfluß einer variierten Kaliumernährung auf den Transport von Assimilaten zur Frucht und auf die Verlagerung und die Gehalte an Mineralstoffen im Verlauf der Vegetation bei *Solanum lycopersicum* untersucht. Die Versuchsergebnisse zeigen:

1. Die Früchte der Tomate stellen beachtliche "Sinks" für Kalium dar. Das K^+ wird im Verlauf der Vegetationszeit nicht nur aus der Nährlösung sondern auch von den anderen Pflanzenorganen in zunehmendem Maße zu den Früchten hin translokiert. Diese Verlagerung des K^+ von den anderen Pflanzenorganen in die Früchte ist besonders bei unzureichender K-Versorgung der Pflanze ausgeprägt. Es kommt dann zu einer beachtlichen Verarmung der anderen Pflanzenteile - Blätter, Stengel, Wurzeln - an K^+ . In diesem Zusammenhang kommt gerade den Wurzeln eine erhebliche Bedeutung zu.
2. Die unterschiedliche K-Ernährung hat auf die Translokation von Ca^{2+} und Na^+ keinen wesentlichen Einfluß. Na^+ kann also das K^+ hinsichtlich seiner Verlagerung in die Frucht nicht substituieren. Interessanterweise aber zeigte sich, daß mit verbesserter K-Versorgung auch der Transport von Mg^{2+} aus den Blättern und Wurzeln zur Frucht begünstigt wird.
3. Die mit ^{14}C durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß bei mäßiger (kein sichtbarer K-Mangel) bis reichlicher K-Ernährung keine wesentlichen Unterschiede in der CO_2 -Assimilation in Abhängigkeit von dem K-Ernährungszustand vorlagen, falls man die CO_2 -Assimi-

lation auf die Gewichtseinheit (z.B. Frischgewicht) der assimilierenden Organe bezieht. Der Einfluß des K-Ernährungszustandes auf den Assimilattransport aus den Blättern in die grünen Früchte war deshalb bei den vorliegenden Untersuchungen nicht immer eindeutig, denn die grünen Früchte trugen wesentlich durch Eigenassimilation zu den in ihnen nachgewiesenen markierten Assimilaten bei. Die Untersuchungen, die jedoch an reifen oder abgedunkelten Früchten durchgeführt wurden, zeigten deutlich, daß die besser mit K^+ ernährten Pflanzen vermehrt Assimilate in die Früchte und teils auch in die Wurzeln verlagerten. Da die reichlich mit K^+ versorgten Pflanzen (Variante K_2) in den meisten Fällen auch größer waren als die mäßig mit K^+ versorgten Pflanzen (Variante K_1), ist der Einfluß des K^+ auf das Wachstum eher auf den Assimilattransport als auf die CO_2 -Assimilation zurückzuführen.

4. Die vorliegenden markierten Assimilate bestanden, je nach Pflanzenorgan, zu 72-90% aus Zuckern, 3,5-9% aus Aminosäuren und 5-19% aus organischen Säuren. Die Gehalte an markierten Zuckern und besonders die an Saccharose waren vor allen Dingen im Stengel hoch. Aufgrund dieses Befundes wird in Übereinstimmung mit anderen Autoren angenommen, daß die Saccharose in der Tomatenpflanze die wichtigste Transportform für Kohlenhydrate darstellt. Demgegenüber scheint die Annahme, daß auch den organischen Anionen bzw. den Karboxylaten beim Stofftransport in der höheren Pflanze eine größere Bedeutung zukommt, weniger wahrscheinlich, denn von der gesamten Menge an markierten organischen Substanzen lagen nur 5-19% in Form von organischen Anionen vor. Dieser Anteil war in den Blättern (10-18%) höher als in den Stengeln (5-14%).

5. Der günstige Einfluß des K-Ernährungszustandes wird damit erklärt, daß K^+ die oxydative und photosynthetische Phosphorylierung begünstigt. Die gut mit K^+ versorgte Pflanze ist also in einem besseren Energiezustand, und sie vermag damit im Vergleich zur weniger gut mit K^+ ernährten Pflanze vermehrt Assimilate in die Leitgewebe aktiv abzuscheiden.

VI. SCHRIFTTUM

- AMBERGER, A.: Zur Rolle des Kaliums bei Atmungsvorgängen.
Biochem. Z. 323, 437-458 (1953)
- AMIR, S. and Leonora REINOLD: Interaction between K-deficiency and light in ^{14}C -sucrose translocation in bean plants.
Physiol. Plant. 24, 226-231 (1971)
- ARNON, I.: Quality criteria of agricultural produce and the influence of mineral fertilizers on quality.
Potassium Symposium Brussels 1966, 339-398
- ASHLEY, D.A. and R.D. GOODSON: Effect of time and plant K status on ^{14}C -labeled photosynthate movement in cotton.
Crop Sci. 12, 686-691 (1972)
- BIDDULPH, O.: Mechanisms of translocation of plant metabolites. Physiological Aspects of Crop Yield. American Society of Agronomy, Madison/USA, 143-164 (1969)
- BIDDULPH, O., S. BIDDULPH, R. CORY and H. KOONTZ: Circulation patterns for phosphorus, sulfur and calcium in the bean plant.
Plant Physiol. 33, 293-300 (1958)
- BIELESKI, R.L.: Accumulation of phosphate, sulfate and sucrose by excised phloem tissues.
Plant Physiol. 41, 447-454 (1966a)
- BIELESKI, R.L.: Sites of accumulation in excised phloem and vascular tissues.
Plant Physiol. 41, 455-466 (1966b)
- BOWLING, D.J.F.: Translocation at 0°C in *Helianthus annuus*.
J. Exp. Bot. 19, 381-388 (1968)
- BOWLING, D.J.F.: Evidence for the electroosmosis theory of transport in the phloem.
Biochim. Biophys. Acta (Amst.) 183, 230-232 (1969)
- BROYER, T.C. and P.R. STOUT: The macronutrient elements.
Ann. Rev. Plant Physiol. 10, 277-300 (1959)
- BUKOVAC, M.J. and S.H. WITTWER: Absorption and mobility of foliar applied nutrients.
Plant Physiol. 32, 428-435 (1957)
- CGIC, Y., C. LESAINT, M. PROVOT et F. Le ROUX: Comparaison de l'antagonisme des cations dans la nutrition minérale du maïs et de la tomate.
Ann. Physiol. vég. 8, 87-100 (1966)
- COOPER, A.J., D. COOKE, R. GARDNER and P.G. ALLEN: The effects of light intensity, day temperature and water supply on the fruit-ripening disorders and yield of two varieties of tomato.
J. Hort. Sci. 39, 42-53 (1964)

- CUPINA, T. and M. SARIC: Rate of uptake and metabolism of $C^{14}O_2$ through leaves and roots under normally green and etiolated corn seedlings.
J.Sci.Agric.Res., 17, No. 57, 129-141 (1964)
- CUPINA, T. and M. SARIC: Assimilation of carbon into some organic matters in young corn plants grown under various conditions of nutrition.
J.Sci.Agric.Res. 20, No. 69, 48-62 (1967)
- DENAEYER-DE SMET: Contribution à l'étude chimique de la sève du bois de *Corylus avellana*.
Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique, Tome 100, p. 355-372 (1967)
- DIERKSHOORN, W.: The relation of growth to the ionic constituents of the plants.
In: Morison, J.H.: Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1969.
- EVANS, H.J. and G.J. SONGER: Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations.
Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 47-76 (1966)
- EVANS, H.J. and R.V. THOXLER: Relation of calcium nutrition to the incidence of blossom end rot in tomatoes.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61, 346-352 (1953)
- FARIAN-GALAN, Georgeta: The transport of assimilates in P- and K-deficient plants.
Rev. roum. Biol. Sér. Bot., 33-40 (1971)
- FISHER, D.D.: Kinetics of C-14 translocation in soybean. I. Kinetics in the stem.
Plant Physiol. 45, 107-113 (1970a)
- FISHER, D.B.: Kinetics of C-14 translocation in soybean. II. Kinetics in the leaf.
Plant Physiol. 45, 114-118 (1970b)
- FISHER, D.D.: Kinetics of C-14 translocation in soybean. III. Theoretical considerations.
Plant Physiol. 45, 119-125 (1970c)
- FORSTER, H.: Relationship between the nutrition and the appearance of "Greenback" and "Blossom-end rot" in tomato fruits.
Vortrag, gehalten auf dem Symposium "Nutrition and fertilization of vegetables" der International Society for Horticultural Science, Warschau, 13.-17. Sept. 1971
- FREEMAN, G.G.: The role of potassium in vegetable nutrition.
Extract from National Vegetable Research Station Report for 1967 (Biochemistry Department)
- FREEMAN, G.G. and N. MOSSADEGHI: Effect of potassium nutrition on composition of leaves.
Extract from National Vegetable Research Station Report for 1967 (Biochemistry Department)

- GAGE, R.S. and S. ARONOFF: Translocation III. Experiments with carbon¹⁴, chlorine³⁶, and hydrogen³.
Plant Physiol. 35, 53-64 (1960)
- GARDNER, D.C.J. and A.J. PEEL: ATP in sieve tube sap from willow.
Nature 222, 774 (1969)
- GEIGER, D.R. and D.A. CATALDO: Leaf structure and translocation in sugar beet.
Plant Physiol. 44, 45-54 (1969)
- GEIGER, D.R., M.A. SAUNDERS and D.A. CATALDO: Translocation and accumulation of translocate in the sugar beet petiole.
Plant Physiol. 44, 1657-1665 (1969)
- GERALDSON, C.M.: Control of blossom-end rot of tomatoes.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 69, 309-317 (1957)
- VAN GOOR, B.J.: The role of calcium and cell permeability in the disease blossom-end rot of tomatoes.
Physiol. Plant. 21, 1110-1121 (1968)
- GREENWAY, H.: Plant responses to saline substrates. IV. Chloride uptake by *Hordeum vulgare* as affected by inhibitors, transpiration and nutrients in the medium.
Austr. J. Biol. Sci. 18, 249-268 (1965)
- HAEDER, H.E. and K. MENGEL: Translocation and respiration of assimilates in tomato plants as influenced by K nutrition.
Z. Pflanzenern. u. Bodenk. 131, 139-148 (1972)
- HARTT, Constance E.: Potassium deficiency in sugar cane.
Botan. Gaz. 88, 229-261 (1929)
- HARTT, Constance E.: Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugars and enzyme activity of sugar cane.
Plant Physiol. 2, 453-490 (1954)
- HARTT, Constance E.: Translocation of ¹⁴C in detached blades of sugar cane.
Plant Physiol. 37, XII (1962)
- HARTT, Constance E.: Light and translocation of ¹⁴C in detached blades of sugar cane.
Plant Physiol. 40, 718-724 (1965)
- HARTT, Constance E.: Effect of potassium deficiency upon translocation of ¹⁴C in attached blades and entire plants of sugar cane.
Plant Physiol. 44, 1461-1469 (1969)
- HARTT, Constance E.: Effect of potassium deficiency upon translocation of ¹⁴C in detached blades of sugar cane.
Plant Physiol. 45, 183-187 (1970)
- HARTT, Constance E. and H.P. KORTSCHAK: Sugar gradients and translocation of sucrose in detached blades of sugar cane.
Plant Physiol. 39, 460-474 (1964)

- HARTT, Constance E. and H.P.KORTSCHAK: Translocation of ^{14}C in the sugar cane during the day and night.
Plant Physiol. 42, 89-94 (1967)
- HARTT, Constance E., H.P.KORTSCHAK and G.O.BURR: Effects of defoliation, deradication and darkening the blade upon translocation of C^{14} in sugar cane.
Plant Physiol. 39, 15-22 (1964)
- HARTT, Constance E., H.P.KORTSCHAK, Ada J.FORBES and G.O.BURR: Translocation of ^{14}C in sugar cane.
Plant Physiol. 38, 305-318 (1963)
- HATCH, M.D. and C.R.SLACK: Photosynthesis by sugar cane leaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation.
Biochem.J. 101, 103-111 (1966)
- HATCH, M.D. and C.R.SLACK: Photosynthetic CO_2 -fixation pathways.
Amer.Rev.Plant Physiol. 21, 141-162 (1970)
- HATCH, M.D., C.R.SLACK and H.S.JOHNSON: Further studies on a new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in sugar cane and its occurrence in other plant species.
Biochem.J. 102, 417-422 (1967)
- HELL, G.: Der Einfluß der Ernährung und des physiologischen Alters auf den Kohlenhydratgehalt sowie die einzelnen Kohlenhydratfraktionen bei einigen Gramineen und Leguminosen.
Dissertation, Gießen, 1971
- HIATT, A.J. and S.B.HENDRICKS: The role of CO_2 fixation in accumulation of ions by barley roots.
Z.Pflanzenphysiol. 56, 220-232 (1967)
- HOBSON, G.E.: Influence of nitrogen and potassium fertilizers on pectic enzyme activity in tomato fruit.
J.Sci.Food Agric. 14, 550-554 (1965)
- HOFSTRA, G. and C.D.NELSON: The translocation of photosynthetically assimilated ^{14}C in corn.
Canad.J.Bot. 47, 1455-1442 (1969)
- IMAI, H., Y.YAMADA and T.HARADA: Comparative studies on the photosynthesis of higher plants (1). Differences of the metabolic patterns of photosynthesis between tomato leaves and maize leaves.
Soil Sci. and Plant Nutrition 17, No.3, 110-114 (1971)
- JOHNSON, K.E.E., J.F.DAVIS and E.J.BENNE: Control of magnesium deficiency in Utah 10 B celery grown on organic soil.
Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 21, 528-532 (1957)
- JONES, L.K.: Some effects of potassium deficiency on the metabolism of the tomato plant.
Canad.J.Bot. 39, 595-606 (1961)

- JONES, L.H.: Carbon-14 studies of intermediary metabolism in potassium-deficient tomato plants.
Canad.J.Bot. 44, 297 (1966)
- JONES, L.H., R.V.MARTIN and H.K.PORTER: Translocation of 14 carbon in tobacco following assimilation of 14 carbon dioxide by a single leaf.
Ann.Bot. 23, 493-508 (1959)
- KABU, K.L. and E.W.TOOP: Influence of potassium-magnesium antagonism on tomato plant growth.
Canad.J.Plant Sci. 50, 711-715 (1970)
- KALBERER, F. und J.RUTSCHMANN: Eine Schnellmethode zur Bestimmung von Tritium, Radiokohlenstoff und Radioschwefel in beliebigem organischen Probenmaterial mittels des Flüssigkeits-Szintillationszählers.
Helv.chim.acta 44, 1956-1966 (1961)
- KHAN, A.A. and F.I.AKOSU: The physiology of groundnut. I. An autoradiographic study of the pattern of distribution of 14 C products.
Physiol.Plantarum 24, 471-475 (1971)
- KHAN, A.A. and G.R.SAGAR: Distribution of 14 C-labeled products of photosynthesis during the commercial life of the tomato crop.
Ann.Bot. 30, 727-743 (1966)
- KHAN, A.A. and G.R.SAGAR: Translocation in tomato: The distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production.
Horticult.Res., Edinburgh-London 7, Nr.1, 61-69 (1967)
- KHAN, A.A. and G.R.Sagar: Alteration of the pattern of distribution of photosynthetic products in the tomato by manipulation of the plant.
Ann.Bot. 33, 753-762 (1969a)
- KHAN, A.A. and G.R.SAGAR: Changing patterns of distribution of the products of photosynthesis in the tomato plant with respect to time and to the age of a leaf.
Ann.Bot. 33, 763-779 (1969b)
- KIRKBY, E.A. and K.MENGEL: Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition.
Plant Physiol. 42, 6-14 (1967)
- KISSEL, D.E. and J.L.RAGLAND: Redistribution of nutrient elements in corn (*Zea mays* L.): I. N, P, K, Ca and Mg redistribution in the absence of nutrient accumulation after silking.
Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 31, 227-230 (1967)
- KLEIN, G.: Mineralstoffernährung und Mineralstoffhaushalt des keimenden Maises.
Z.Pflanzenernähr. 108, 19-29 (1965)

- KOBLET, W.: Wanderung von Assimilaten in Rebtrieben und Einfluß der Blattfläche auf Ertrag und Qualität der Trauben. Die Wein-Wissenschaft, 24.Jahrg.Sonderdruck, 277-319 (1969)
- KÜCHER, H. and O.A.LEONARD: Translocation and metabolic conversion of ^{14}C labeled assimilates in detached and attached leaves in *Phaseolus vulgaris* L.in different phases of leaf expansion. Plant Physiol. 47, 212-216 (1971)
- KORTSCHAK, H.P., Constance E.HARTT and G.O.BURR: Carbon dioxide fixation in sugar cane leaves. Plant Physiol. 40, 209-213 (1965)
- KRIEDMANN, P.E.: The distribution of ^{14}C labeled assimilates in mature lemon trees. Austr.J.agric.Res. 21, 623-632 (1970)
- KURSANOV, A.L.: Der Transport organischer Stoffe in den Pflanzen. Endeavour 20, 19-25 (1961)
- KURSANOV, A.L.: Metabolism and the transport of organic substances in the phloem. Advances in Botanical Research.Academic Press, London and New York.1, 209-278 (1963)
- KURSANOV, A.L.: J.Intern.Inst.Sugar Beet Res. 2, 162-183 (1967)
- KURSANOV, A.L. and M.I.BROVCHENKO: Effect of ATP on the entry of assimilates into the conducting system of sugar beets. Soviet Plant Physiol.8, 211-217 (1961)
- KURSANOV, A.L. et E.VYSKREBENTZEVA: Le rôle du potassium dans le métabolisme du végétal et la biosynthèse des composés déterminant la qualité des produits agricoles. Kalium Symposium Brüssel 1966, S.401-420
- LATIES, G.G.: Dual mechanism of salt uptake in relation to compartmentation and long-distance transport. Ann.Rev.Plant Physiol. 20, 89-116 (1969)
- LATZKO, E. und D.CLAUS: Über die spezifischen Funktionen mineralischer Nährstoffe im intermediären Stoffwechsel. Landw.Forschung, 11.Sonderheft, 101-109 (1958)
- LAWTON, J.R.S.: Translocation in the phloem of *Dioscorea* spp.I. Distribution of radioactive photosynthates as shown by whole-plant autoradiography. Z.Pflanzenphysiol. 58, 1-7 (1967)
- LEGGETT, J.E.: Salt absorption by plants. Ann.Rev.Plant Physiol. 19, 333-346 (1968)
- LEONARD, O.A. and R.K.GLENN: Translocation of assimilates and phosphate in detached bean leaves. Plant Physiol. 43, 1380-1388 (1968)

- LINSER, H.: Das Wachstum lebender Systeme.
Umschau in Wissenschaft und Technik 67, 381-387 (1967)
- LINSER, H. und K. HERWIG: Zusammenhänge zwischen Bewindung, Transpiration und Nährstofftransport bei Lein unter besonderer Berücksichtigung einer variierten Wassergabe und Kalidüngung.
Kali-Briefe, Fachgebiet 2, 2. Folge (1968)
- LINSER, H., G. LACH und L. TITZE: Systemwachstum und Produktwachstum bei Weizen und Ölrettich.
Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 121, 199-211 (1968)
- LINSER, H. und L. TITZE-BETTNER: Phosphataufnahme und System- (Protein) Syntheseleistung bei Sommerweizen.
Z. Pflanzenernähr. und Bodenk. 128, 235-242 (1971)
- MADSEN, E.: Effect of CO_2 - concentration on the accumulation of starch and sugar in tomato leaves.
Physiol. Plantarum 21, 168-175 (1968)
- MARSCHNER, H. und W. SCHAFARCZYK: Vergleich der Nettoaufnahme von Natrium und Kalium bei Mais- und Zuckerrübenpflanzen.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 118, 172 (1967)
- MENGEL, K.: Das Kationen-Anionen-Gleichgewicht in Wurzel, Stengel und Blatt von *Helianthus annuus* bei K-Chlorid- und K-Sulfaternährung.
Planta (Berl.) 65, 358-368 (1965)
- MENGEL, K.: Nährstoffantagonismen und ihre Bedeutung für die Pflanzenernährung.
Chemie und landwirtschaftliche Produktion, 99-117 (1970)
- MENGEL, K.: Der Ferntransport organischer Stoffe in landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.
Landw. Forschung 26/II. Sonderheft (1971)
- MENGEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.
VEB Gustav - Fischer - Verlag, Jena, 1972
- MILTHORPE, F. L. and J. MOORBY: Vascular transport and its significance in plant growth.
Ann. Rev. Plant Physiol. 20, 117-138 (1969)
- MOORBY, J.: The production, storage and translocation of carbohydrates in developing potato plants.
Ann. Bot. (Lond.) N. 5, 34, 297-308 (1970)
- NOGUCHI, Y. and T. SUGAWARA: Physiological studies; potassium and Japonica rice, 39-57
International Potash Institute, Berne (1966)

- PEASLEE, D.E. and D.N. MOSS: Photosynthesis in K- and Mg-deficient maize (*Zea mays* L.) leaves.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 220-223 (1966)
- PEEL, A.J.: Zuckertransport in den Pflanzen.
Bild der Wissenschaft, Heft 4, 344-351 (1970)
- PEEL, A.J. and P.E. WEATHERLEY: Composition of sieve-tube sap.
Nature 184, 1955-1956 (1959)
- PETERBURGSKIJ, A.V., G.L. NELJUBOVA and L.S. ABROSINA: The effect of the K : Ca ratio in the nutrient medium on the development and productivity of tomatoes and beans.
IZV. Timirjazevskoj Skochozjajstvennoj Akad. No. 3, 92-99 (1968)
- PFLÜGER, R. und K. MENGEL: Die photochemische Aktivität von Chloroplasten aus unterschiedlich mit Kalium ernährten Pflanzen.
Plant and Soil 36, 417-425 (1972)
- PIRSON, A.: Functional aspects in mineral nutrition of green plants.
Ann. Rev. Plant Physiol. 6, 71-114 (1955)
- PISSAREK, H.P. and A. FINK: Untersuchung zur anatomisch-mikroskopischen Diagnose des latenten Kaliummangels.
Vortrag auf der Lufa-Tagung, Kiel 1971
- PLAUT, Z. and Leonora REINHOLD: Concomitant photosynthesis implicated in the light effect on translocation in bean plants.
Austr. J. Biol. Sci. 22, 1105-1111 (1969)
- RICHARDS, F.G.: Some aspects of potassium deficiency in plants.
Potassium-Symposium, Int. Potash Inst., London, (1956)
- ROORDA VAN EYSINGA, J.P.N.L.: Mineral fertilization, yield and quality of vegetables.
Kalium-Symposium, Brüssel 1966, 217-233
- SAITO, T., T. HATAKEYAMA and H. ITOH: Studies on the growth and fruiting of tomato.
Journal of the Japanese Society for Horticulture Science, Vol. XXXII, No. 2, 55-66 (1963)
- SCHLARRER, K. und K. MENGEL: Aufnahme und Verteilung der Kationen Ca, Mg, K und Na in der Pflanze bei variiertem K- und Mg - Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung.
Plant and Soil 12, 377-396 (1960)
- SHEN, G.M.: Translocation and distribution of assimilates from the leaves of rice plant during its various developing periods - experiments with radioactive carbon (^{14}C). (Chinese with Eng. sum.)
Acta Agric. Sinica 11, 30-40 (1960)

- SHIROYA, M., G. R. LISTER, C. D. NELSON and G. KROTKOV: Translocation of C^{14} in tobacco at different stages of development following assimilation of $C^{14}O_2$ by a single leaf. *Canad. J. Botany* 39, 855-864 (1961)
- SKOGLEY, E. O. and S. S. HAIDER: Soil-resin system studies. Effects of sodium and magnesium on barley (*Hordeum vulgare* L.) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant and Soil* 30, No. 3, 343 (1969)
- SMILDE, K. W. and J. P. N. L. ROORDA VAN EYSINGA: Nutritional diseases in glasshouse tomatoes. Centre for agricultural publishing and documentation, Wageningen, 1968
- SMITH, P. F.: Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13, 81-108 (1962)
- SPURR, A. K.: Anatomical aspects of blossom-end rot in the tomato with special reference to calcium nutrition. *Hilgardia* 28, 269-295 (1959)
- SWANSON, C. A. and E. D. H. EL-SHISHINY: Translocation of sugars in the Concord grape. *Plant Physiol.* 33, 33-37 (1958)
- ULRICH, A.: Physiological basis for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 3, 207-228 (1952)
- VERNON, L. P. and S. ARONOFF: Metabolism of soybean leaves. IV. Translocation from soybean leaves. *Arch. Biochem. and Biophys.* 36, 383-398 (1952)
- WALL, M. E.: The role of potassium in plants. II. Effect of varying amounts of potassium on the growth status and metabolism of tomato plants. *Soil Sci.* 49, 315-331 (1940)
- WALLACE, A., A. M. ABOU-ZAZAM and R. T. MUELLER: Transport of sodium into the xylem exudate of tobacco. *Plant Physiol.* 50, 388-390 (1972)
- WALSH, T. and E. T. CLARKE: A further study of the chlorosis of tomatoes with particular reference to potassium-magnesium relationships. *Proc. Roy. Irish Acad.* 50. (B), 245-263 (1945)
- WARD, G. M.: Wachstum und Nährstoffaufnahme von Gewächshaustomaten und -gurken. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 90, 335-341 (1967)
- WIERSUM, L. K.: Calcium content of fruits and storage tissues in relation to the mode of water supply. *Acta Biol. Neerl.* 15, 406-418 (1966)

- WILCOX, G.E.: Potassium needs - diagnosis and use on vegetable crops.
Hort. Science, St. Joseph, Mich. 4 Nr.1 S.41 (1969)
- WILSON, J.W.: Maximum yield potential.
In: Proceedings of the VIIth Colloquium of the International Potash Institute, held in Israel, 34-56 (1969)
- WINSOR, G.W.: Potassium and the quality of glasshouse crops.
Kalium-Symposium Brüssel 1966, 303-312
- WINSOR, G.W., J.N. DAVIES and M.I.E. LONG: Liquid feeding of glasshouse tomatoes; the effects of potassium concentration on fruit quality and yield.
J. Hort. Sci. 36, 254-267 (1961)
- WINSOR, G.W. and M.I.E. LONG: The effects of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and lime in factorial combination on ripening disorders of glasshouse tomatoes.
J. horticult. Sci. 42, 391-402 (1967)
- WINSOR, G.W., J.H.L. MESSING and M.I.E. LONG: The effects of magnesium deficiency on the yield and quality of glasshouse tomatoes grown at two levels of potassium.
J. Hort. Sci. 40, 118-132 (1965)
- WITTWER, S.H. and F.G. TEUBNER: Foliar absorption of mineral nutrients.
Ann. Rev. Plant Physiol. 10, 13-32 (1959)
- WOODS, M.J.: Colour disorders of ripening tomatoes. III. Fruit colour in relation to nutrition.
Irish J. Agric. Res. 3, 17-27 (1964)
- WOODS, M.J.: The effect of some nutritional and environmental factors on fruiting quality in tomatoes.
Kalium-Symposium Brüssel 1966, 313-323
- WOOLLEY, J.T.: Sodium and silicon as nutrients for the tomato plant.
Plant Physiol. 32, 317-327 (1957)
- YOSHIDA, S.: Physiological aspects of grain yield.
Ann. Rev. Plant Physiol. 23, 437-464 (1972)
- ZIEGLER, H.: Der Ferntransport organischer Stoffe in den Pflanzen.
Verhandl. d. Ges. Deutscher Naturforscher u. Ärzte, S. 68.
Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg (1963)
- ZIEGLER, H.: Wasserumsatz und Stoffbewegungen.
Fortschritte der Botanik 33, 63-83 (1971)
- ZIEMER, R.E.: Translocation of ¹⁴C in ponderosa pine seedlings.
Canad. J. Bot. 49, 167-171 (1971)
- ZIMMERMANN, M.H.: Transport in the phloem.
Ann. Rev. Plant Physiol. 11, 167-190 (1960)

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Mengel für die Überlassung des Themas sowie für sein Interesse und die laufende unermüdliche Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit.

Den Mitarbeitern der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Büntehof danke ich für ihre große Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Untersuchungen.

Ich bedanke mich ferner bei meiner Freundin Frau Karin Beyer, die sich große Mühe gegeben hat, das Manuskript sprachlich zu korrigieren.

Nicht zuletzt gilt mein Dank der KALI und SALZ AG., Hannover, die meine Arbeit finanziell unterstützte, und mir einen Arbeitsplatz zur Verfügung stellte.

Lebenslauf

Am 20. Mai 1941 wurde ich, Maija Kaarina Viro, als Tochter des Professors Dr. Pentti J. Viro und seiner Ehefrau Martta geb. Nackström in Helsinki, Finnland geboren. Vom Herbst 1948 bis zum Frühjahr 1951 besuchte ich die Volksschule Lapinlahden kansakoulu in Helsinki. Im Herbst 1951 wechselte ich über auf das Gymnasium Arkadian Yhteislyseo in Helsinki. Dort machte ich im Frühjahr 1959 das Abitur. Anschließend studierte ich an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der Philosophischen Fakultät der Universität Helsinki. Im Frühjahr 1966 schloß ich das Studium mit dem Grad Phil. cand. ab, meine Fachkombination bestand aus Chemie (org.), Mathematik und Physik. Im Frühjahr 1968 machte ich noch eine weitere Prüfung in anorganischer Chemie. Ab Herbst 1965 bis zum Frühjahr 1969 war ich als Unterrichtsassistentin an dem Institut für Chemie der Land- und forstwirtschaftlichen Fakultät der Universität Helsinki angestellt. Vom Wintersemester 1969 an setzte ich mein Studium an der Landwirtschaftlichen Fakultät in Gießen fort. Im Juni 1969 begann ich an der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Büntehof, Hannover, mit den Arbeiten der vorliegenden Dissertation.

